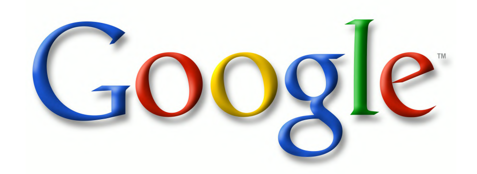
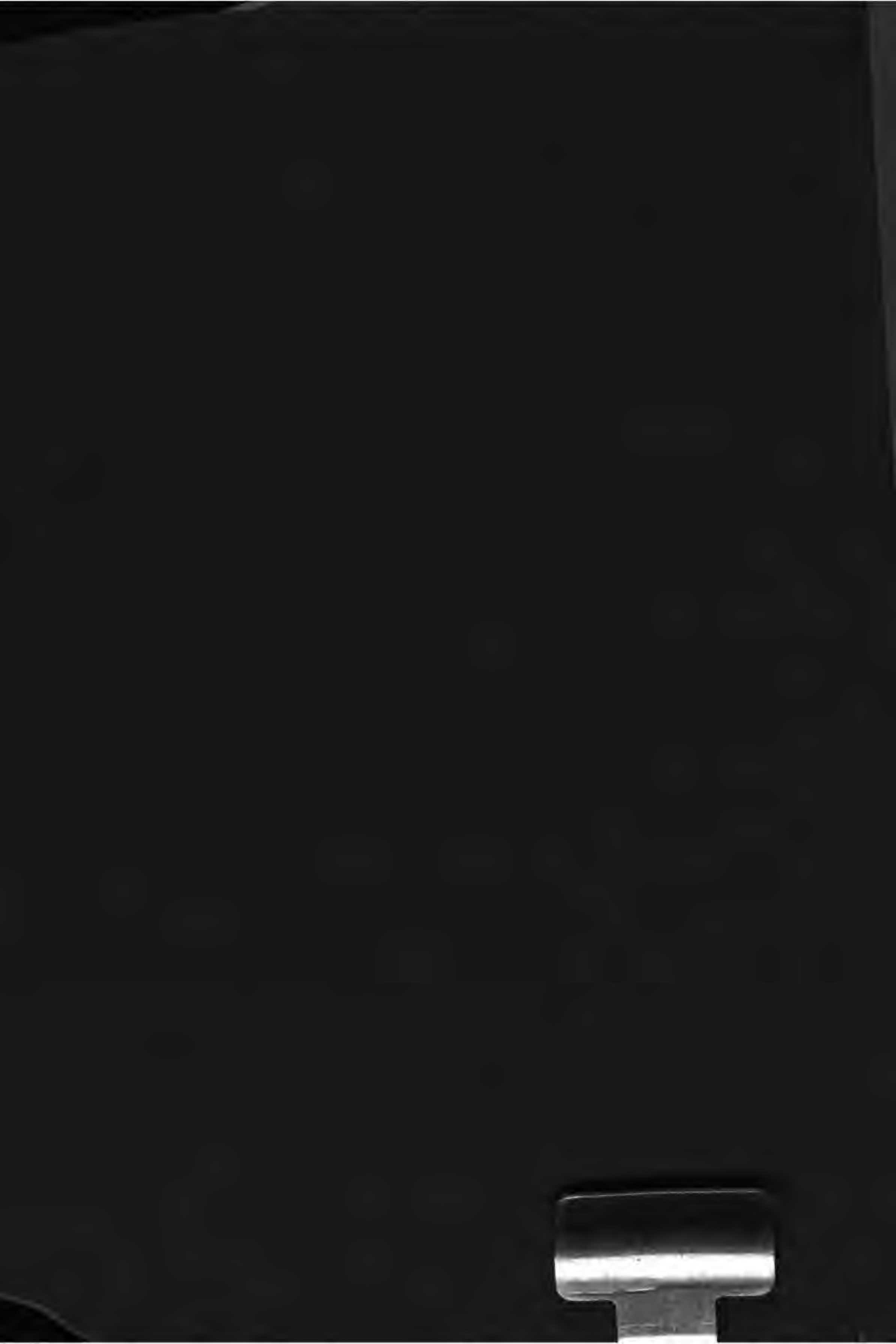


A. Apelt.

Neue untersuchungen über den Kältetod der Kartoffel



Neue Untersuchungen über den Kältetod der Kartoffel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt

von

Arthur Apelt
aus Torna bei Brehna.

Halle a. S.
1907.

Tag der mündlichen Prüfung: 2. März 1907.
Referent: Prof. Dr. Klebs, Geh. Hofrat.

Meinen lieben Eltern

in herzlicher Dankbarkeit gewidmet.

Vorliegende Arbeit wurde auf Anregung und unter Leitung des Herrn Prof. Dr. Mez, der mir auch die ihm gehörenden Apparate gütigst zur Verfügung stellte, ausgeführt; es sei mir gestattet, für die ständig mir zuteil gewordene liebenswürdige Unterstützung auch an dieser Stelle herzlichst zu danken.

Neue Untersuchungen über den Kältetod der Kartoffel.

Von **Arthur Apelt.**

A. Einleitung.

a) Grundlagen der Untersuchungen.

Kein Objekt hat bei der Erforschung des Kältetodes der Pflanzen für die Ausbildung der darüber herrschenden Theorien eine so große Bedeutung bekommen, wie die Knolle der Kartoffel *(Solanum tuberosum).*

Herm. Müller-Thurgau[1]) schließt seine Untersuchungen über den Kältetod dieses Objektes mit der Folgerung ab, daß dasselbe im Augenblick getötet werde, in welchem in den Zellen Eisbildung stattfindet. Das Gefrieren bedinge das Erfrieren.

Müller-Thurgau baut auf diesen Befund, welcher durch einige andere sich gleichartig verhaltende Objekte (Zwiebel, Runkelrübe, Trauben, Äpfel, Birnen) unterstützt wird, seine physikalische Erfrierungstheorie auf.

Diese Theorie ist, kurz gefaßt, folgende[2]): Durch das Gefrieren des Wassers findet ein intensiver Wasserentzug, das heißt eine Austrocknung der Protoplasten statt. Diese Austrocknung sei die Todesursache; der Tod werde also nicht durch die Kälte, sondern durch eine Folgeerscheinung der sinkenden Temperatur, nämlich durch das Ausfrieren des Zellsaftes, bewirkt.

Dieser Theorie schließt sich Molisch[3]) in seiner monographischen Bearbeitung des Erfrierens der Pflanzen in allen wesentlichen Punkten an. Zwar sind ihm Fälle bekannt, in welchen das Absterben der Pflanzen bei wesentlich über der Eisbildung liegender Temperatur erfolgt. Bei seinen Untersuchungen[4]) fand er, daß bei einer Temperatur von + 1,4° bis + 3,7° die Blätter von *Episcia bicolor* Hook. nach 18 Stunden, die von *Sciadocalyx Warscewiczii* Regel nach 24 Stunden Schädigungen aufwiesen und daß

---

[1]) Herm. Müller-Thurgau, Über das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. Landwirtschaftl. Jahrbücher IX. 1880 S. 168 ff. und Landwirtschaftl. Jahrbücher XV. S. 455 ff. u. S. 505.

[2]) Herm. Müller-Thurgau, l. c. XV. 1886 S. 534—537.

[3]) H. Molisch, Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. Jena 1897.

[4]) Molisch, l. c. S. 61, 62. Daselbst viele andere Beispiele.

die Blattspreiten beider Pflanzen nach fünf Tagen völlig abgestorben waren. Andererseits diskutiert er die Befunde anderer Forscher[1]), nach welchen Organismen tief, ja unter Umständen außerordentlich tief unter ihrer Eisbildungstemperatur am Leben bleiben.

Trotz dieser beiden Fälle des Erfrierens über und des Lebenbleibens tief unter der Eisbildungstemperatur schließt er sich (bezüglich der höheren Organismen wenigstens) im wesentlichen der physikalischen Erfrierungstheorie Müller-Thurgaus[1]) an.

Nachdem schon Pfeffer[2]) seine Bedenken bezüglich der physikalischen Erfrierungstheorie ausgesprochen hat und, den Kältetod mit dem Hitzetod in Parallele stellend, im wesentlichen das Überschreiten des spezifischen Minimums als Todesursache angesehen, die eigentliche Todesursache also in die nicht näher zu verfolgende Konstitution des Protoplasmas verlegt hat, bekräftigte Mez[3]) diese Auffassung durch eine große Anzahl von Versuchen.

Mez hat insbesondere gezeigt, daß es eine sehr große Anzahl von Pflanzen gibt, welche eine Eisbildung in ihren Geweben ertragen, ohne daß durch diesen physikalischen Vorgang der Kältetod eintritt. Dieser Hinweis wäre nichts neues gewesen, wenn nicht zugleich durch Mez gezeigt worden wäre, daß die Austrocknungskurven der Protoplasten durch die Eisbildung keineswegs parallel gehen mit den Todestemperaturen, sondern daß die nach den Theorien der physikalischen Chemie weitestgehende Austrocknung bei einer großen Anzahl von Pflanzen bei einer Temperatur bereits erfolgt[4]) ist, welche hoch über der Todestemperatur der betreffenden Organismen liegt.

Es kann dementsprechend hier nicht die Eisbildung, sondern es muß die Konstitution, es müssen die Eigenschaften des Protoplasmas bestimmend sein für den Kältetod; dementsprechend definiert Mez[5]), von der physikalischen Erfriertheorie absehend, den Kältetodespunkt als denjenigen Punkt, bei welchem das Minimum der jedem Protoplasten spezifischen Temperaturzone nach unten überschritten wird.

Die Grundlagen der physikalischen Erfrierungstheorie hat Mez dadurch erschüttert, daß er auf Grund seiner mit exakten Meßmethoden ausgeführten Untersuchungen das völlige Zusammenfallen von Eisbildungspunkt und Todespunkt in der Kartoffel bestritt[6]) und damit von Sachs[7]) bereits viel früher gemachte Beobachtungen bestätigte. Nach Mez liegt der Eisbildungspunkt der Kartoffel deutlich höher als der Todespunkt. Hieraus folgt, daß die Eisbildung nicht in der Weise wirksam sein kann, daß die Kartoffelknolle auch nicht die geringste Eisbildung in ihren Geweben ertrage.

---

1) Molisch, l. c. S. 66—73.

2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Leipzig 1904, II. S. 314—318.

3) Mez, Neue Untersuchungen über das Erfrieren eisbeständiger Pflanzen. Flora oder Allgem. bot. Zeitung 1905, 94. Band, Heft 1.

4) Mez l. c. S. 95.

5) Mez l. c. S. 96. 6) Mez l. c. S. 120.

7) Sachs, Versuchsstationen II. 1860 S. 172.

b) Aufgaben der Untersuchungen.

Die genaueste Untersuchung des Verhaltens von Eisbildung und Todespunkt in der Kartoffel wurde mir wegen des theoretischen Interesses, welches gerade dieses Objekt für die Lehre von dem Erfrieren der Pflanzen gewonnen hat, von Herrn Professor Mez als Aufgabe gestellt.

Eine Anzahl anderer Aufgaben verbanden sich mit dieser Grundfrage der Arbeit.

Von Herm. Müller-Thurgau[1]) wurde definitiv festgestellt, daß bei niedrigen Temperaturen in der Kartoffel eine intensive Speicherung von Zucker auftritt. Diese Beobachtung war zwar schon früher von anderen Forschern gemacht worden, sie wurde aber von ebenso vielen bestritten, bis sie von Herm. Müller-Thurgau klargestellt wurde. Nachdem A. Fischer[2]) ein gleiches Verhalten bezüglich einer großen Anzahl unserer Laubbäume nachgewiesen hat, welche gleichfalls mit Beginn der kalten Jahreszeit ihre Stärke in Zucker umwandeln, hat dieser die bezeichneten Erscheinungen auch mit der Theorie des Erfrierens der Pflanze verknüpft.

Es ist bekannt, daß mit steigendem osmotischen Drucke die Temperatur der Eisbildung herabgesetzt wird und daß dementsprechend bei Anhäufung von Zucker in den Zellen der Beginn der Eisbildung hinausgeschoben wird. Diese theoretische Erwägung ließ sich sehr natürlich mit der oben kurz skizzierten Austrocknungstheorie des Erfrierens verbinden: durch die Zuckerbildung wird der Gefrierpunkt des Zellsaftes herabgesetzt; es lag nun natürlich nahe, in dieser Zuckerbildung eine Bestätigung der physikalischen Erfriertheorie zu sehen.

Von Herrn Professor Mez wurde mir die Aufgabe gestellt, die Menge des Zuckers, welche sich in der Kartoffel bei verschiedenen Temperaturen bildet, quantitativ zu bestimmen und die gewonnenen Zahlen mit den Erfrierdaten der gleichen Objekte in Parallele zu stellen, um auf diese Weise, bei der bekannten osmotischen Kraft des Traubenzuckers, die Entscheidung treffen zu können, ob die Herabsetzung des Gefrierpunktes, welche zu erwarten war, zahlenmäßig mit der Heraufsetzung des Zuckergehaltes, das heißt des osmotischen Druckes, in Parallele steht und besonders, ob irgend welches Gleichlaufen der Zahlen des Zuckergehaltes und der Erfriertemperaturen zu beobachten sei.

Für das Erfrieren der Pflanzen ist es ferner von besonderer Wichtigkeit, zu wissen, ob die Todesursache in einem Zerfall des Protoplasmas zu suchen ist, oder ob eine allzu große Energieabgabe für den Kältetod in Frage kommt. Energieentzug oder Zerfall des Plasmas als Todesursache ist möglich, wenn der Protoplast durch Abkühlung unter sein spezifisches Minimum abgetötet wird, dagegen würde es sich um Energieentzug als

---

[1]) Herm. Müller-Thurgau, Über Zuckeranhäufung in Pflanzenteilen infolge niederer Temperaturen. Landwirtsch. Jahrbücher XI. 1882 S. 751—828.

[2]) A. Fischer, Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik XXII. S. 158—160.

einzige Todesursache handeln, wenn der Kältetod auch dann eintreten würde, wenn das Untersuchungsobjekt längere Zeit bei einer den Todespunkt nicht erreichenden, aber ihm naheliegenden Temperatur gehalten wird. Für den Fall eines negativen Ausfalls der die zweite Fragestellung betreffenden Experimente wäre auch bezüglich der ersten der Tod infolge von Energieentzug wenig wahrscheinlich.

In bezug auf diese Überlegung wurde mir als nächste Aufgabe gestellt, zu untersuchen, ob eine einmalige tiefe Abkühlung, die den Tod des Objektes zur Folge hat, durch eine länger andauernde Temperatur ersetzt werden könnte, die etwas über dem Erfrierpunkt liegt.

Als letzte Aufgabe wurde mir gestellt, Beobachtungen nachzuprüfen, welche von Göppert[1]) veröffentlicht worden sind. Dieser Autor gibt an, daß Pflanzen, welche einer niedrigen Temperatur ausgesetzt waren, ohne dabei den Tod zu erleiden, dann wieder ins Warme gebracht und vier bis sechs mal auf die gleiche Temperatur abgekühlt wurden, dies noch aushalten, daß sie aber bei häufiger Wiederholung absterben. Diese Angaben besitzen ein großes theoretisches Interesse und mußten in exakter Weise nachgeprüft werden, weil die Göppertschen Versuche nur in sehr roher Weise, nämlich durch Hinausstellen der Pflanzen während einer Frostnacht und nachherige Feststellung der Minimaltemperaturen, also mit Hilfe von Ablesungen, die nicht einmal den Temperaturverlauf einer einzigen Nacht wiedergaben, angestellt worden sind.

Es hat sich bei den Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen mehr und mehr herausgestellt, daß einzig und allein genaue Temperaturmessungen im Innern derjenigen Teile, deren Verhalten gegen die Kälte geprüft werden soll, zu einem sicheren Ergebnis führen. Messungen der erreichten niedrigsten Lufttemperatur, ja selbst Messungen der Außentemperatur einer Pflanze geben noch kein Bild über den Verlauf der Temperaturkurve im Innern derselben. Schon die Versuche von Herm. Müller-Thurgau[2]) zeigten dies aufs Unwiderleglichste, da dieser zum ersten Male darauf hingewiesen hat, daß die Innentemperatur einer Pflanze keineswegs der Außentemperatur zu folgen braucht, sondern daß sie, infolge der bei der Kristallisation des Zellsaftes frei werdenden latenten Wärme, von dem Verlaufe der Außentemperatur häufig auf das Gewaltigste abweicht.

Es kommt noch hinzu, daß Mez[3]) darauf hingewiesen hat, daß das Unterkühlungsphänomen für das Erfrieren von einer gewissen Bedeutung ist, da eine Pflanze, in deren Innern die Unterkühlung vermieden wird, langsamer erfriert als eine solche, bei welcher die Unterkühlung eintritt.

---

[1]) Göppert, Über die Wärmeentwicklung in den Pflanzen, deren Gefrieren und die Schutzmittel gegen dasselbe. Breslau 1830, S. 62.

[2]) Herm. Müller-Thurgau, Über das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. Landwirt. Jahrb. XV. 1886 S. 459 u. 486 ff.

[3]) Mez, l. c. S. 105.

Aus allen diesen Gründen mußten die Angaben Göpperts von neuem und zwar durch exakte Temperaturmessungen im Innern der der Abkühlung unterzogenen Pflanzenteile nachgeprüft werden.

c) Technik der Untersuchungen.

Als Instrument meiner Messungen bediente ich mich des von Mez[1]) benutzten Galvanometers nach Deprez d'Arsonval, welches die Ablesung von hundertstel Graden mit Leichtigkeit gestattet. Eine Beschreibung der nun auch in der Botanik geübten elektrischen Meßmethode an dieser Stelle ist unnötig geworden. Bei der von mir benutzten Thermonadel entsprechen einem Grade Celsius 14,61 Skalenteile oder ein Skalenteil war gleich 0,0684 ^{0}.

Die Abkühlung der Versuchsstücke wurde stets mit Hilfe einer aus Eis und Kochsalz hergestellten Kältemischung vorgenommen. Die Isolierung der Objekte erfolgte in der von Mez[1]) angegebenen Weise.

Mein besonderes Augenmerk habe ich bei meinen Versuchen darauf gerichtet, daß Unterkühlung in den Objekten so viel wie möglich vermieden wurde. Ich habe zu diesem Zwecke in das Gefriergefäß stets einige Tropfen Wasser gegeben und in dieses das zu untersuchende Objekt eintauchen lassen. Obgleich nicht immer auf diese Weise die Unterkühlung vollständig vermieden werden konnte, so war sie doch in der übergroßen Anzahl der Fälle nicht vorhanden und in anderen nur außerordentlich gering. Trotzdem habe ich auch diese letzteren Versuche ausgeschieden und sie für meine Schlüsse nicht als Unterlage verwendet.

Die Beantwortung jeder in meiner Arbeit behandelten Frage hatte als Grundlage die Bestimmung der spezifischen Todespunkte der in Untersuchung genommenen Kartoffelstücke beziehungsweise Kartoffeltriebe. Dabei verfuhr ich so, daß ich, von oben und unten kommend, den spezifischen Punkt immer mehr einengte, bis ich denselben genau bestimmt hatte. Mehrere Kontrolluntersuchungen dienten dann dazu, die gefundenen Todestemperaturen mit Sicherheit zu bestätigen.

Zur Konstatierung des Todes habe ich mich nicht allein der Verfärbung der Kartoffelstücke bedient, die, wie bereits Sachs[2]), Herm. Müller-Thurgau[3]) und Mez[4]) hervorheben, den Tod mit Sicherheit anzeigt, sondern ich habe mich bemüht, in noch schärferer Weise den Tod festzustellen. Es geschah dies von der Erwägung ausgehend, daß unter Kältetod mehreres verstanden werden kann. Zunächst dasjenige, was ich darunter in Anschluß an Mez[5]) verstanden haben möchte, nämlich die Abtötung des Protoplasmas durch die erreichte inframinimale Temperatur.

---

[1]) Mez, l. c. S. 96, 97.
[2]) Sachs, Versuchsstationen II. 1860 S. 189, 190.
[3]) Herm. Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XV. 1886 S. 455.
[4]) Mez, l. c. S. 120. [5]) Mez, l. c. S. 89.

Von diesem Tode ist klarer Weise ein solcher Tod unterschieden, welcher nicht durch, sondern infolge dieser Kälte eintreten kann. Es ist sehr wohl denkbar, — und das wird von Mez[1]) angedeutet, — daß durch die Kälte zwar nicht der Tod einer Zelle, aber doch eine derartige Schwächung des Protoplasten eintreten kann, daß dieser nachträglich nach kürzerer oder längerer Zeit abstirbt. In diesem Falle wäre die erreichte tiefe Temperatur nicht als direkte Todesursache, sondern als Ursache einer zum Tode führenden Krankheit anzusehen.

In praktischer Beziehung, wenn es sich darum handelt, Kartoffeln gegen das Erfrieren und Sterben zu schützen, ist ein Unterschied zwischen diesen beiden Todesarten nicht zu machen, da der ungünstige Effekt in beiden Fällen eintritt. Für theoretische Untersuchungen dagegen sind klarer Weise die beiden Todesarten auf das schärfste zu trennen.

Um dies zu können, habe ich mich nicht mit der Verfärbung der erfrorenen Stücke zur Konstatierung des Todes begnügt, weil diese auch das Ergebnis einer kurzwährenden Krankheit anzeigen kann, sondern ich habe stets sofort nach Beendigung eines jeden Versuches die Prüfung auf das Leben oder Abgestorbensein der Protoplasten mit Hilfe der osmotischen Methode[2]) vorgenommen.

Durch verschiedene Versuche habe ich gefunden, daß eine Salpeterlösung, die 2,8 % KNO_3 enthielt, die also einem osmotischen Effekt von 9 Atmosphären entspricht, dem osmotischen Druck der Zellen entsprach. Zu meinen Versuchen habe ich eine Salpeterlösung von 6—8 % benutzt. Sie wirkt einerseits noch nicht giftig auf das Protoplasma ein, andererseits läßt sie die Plasmolyse lebender Zellen mit genügender Deutlichkeit erkennen. Um die Plasmolyse noch mehr hervortreten zu lassen, habe ich der Salpeterlösung einige Tropfen Methylenblau zugesetzt. Von diesem Farbstoffe ist zwar bekannt, daß er auf das Protoplasma giftig wirkt. Aber einerseits habe ich nur so geringe Spuren desselben verwendet,daß die Lösung eben blau gefärbt war, andererseits tritt die Giftwirkung des Farbstoffes nur dann ein, wenn dieser in das Protoplasma eindringt. Dies war bei seiner Verwendung zur Färbung der osmotisch die Kraft des Zellsafts übersteigenden Salpeterlösung ausgeschlossen[3]). Die gefärbte Lösung bot den Vorteil, daß das Eintreten der Plasmolyse selbst dort, wo diese nur schwach war, mit Sicherheit festgestellt werden konnte.

d) Kurze Darstellung der Ergebnisse meiner Untersuchungen.

Wenn ich in kurzem die Ergebnisse der Untersuchungen, die sich an die im Abschnitte b) wiedergegebenen Fragestellungen anknüpften, vorausnehmen darf, so wurde von mir festgestellt:

---

[1]) Mez, l. c. S. 120 Anmerkung.
[2]) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie I. S. 127.
[3]) Pfeffer, l. c. II. S. 341.

a) Der Erfrierpunkt der Kartoffel fällt mit dem Gefrierpunkte nicht zusammen, sondern liegt deutlich tiefer als letzterer.
b) Die Zuckerbildung in einer Kartoffel ist quantitativ viel zu gering, um die bei längerem Kaltliegen der Knollen beobachtete Senkung des Erfrierpunktes zu erklären.
c) Eine einmalige tiefe Abkühlung des Versuchsobjektes unter das spezifische Minimum kann nicht durch eine länger anhaltende Temperatur wenig über dem Erfrierpunkte ersetzt werden.
d) Die Göppertsche Beobachtung, daß niederer Temperatur ausgesetzt gewesene Pflanzen Wiederholungen der Abkühlungen schlecht ertragen und bei höherer Temperatur erfrieren als nicht vorher tief abgekühlte, hat sich bestätigt.
e) Außer diesen Ergebnissen wurde noch ein wichtiges Resultat gewonnen, nämlich die Bestätigung der von Müller-Thurgau gemachten und ganz nebensächlich erwähnten Beobachtung, daß die Kartoffel bezüglich ihres Gefrierpunktes von der Temperatur, bei welcher sie längere Zeit vor dem Versuche gehalten wurde, beeinflußt wird.

Dieses Verhalten ist von besonderem theoretischen Interesse und wurde in Anbetracht seiner Wichtigkeit auf das genaueste in vielfältiger Wiederholung nachgeprüft.

Bei seinen Untersuchungen über die Anhäufung von Zucker in Pflanzenteilen infolge niederer Temperaturen beobachtete Müller-Thurgau[1]) eine Erniedrigung des Ge- und Erfrierpunktes der kaltgelagerten Kartoffeln. Er fand, daß süße Kartoffeln einen tieferen Überkältungspunkt haben und daß sie bei der Kälte noch am Leben blieben, bei welcher Kartoffeln, die bei höherer Temperatur gelegen hatten, erfroren. Kartoffeln, die 20 Tage auf Eis gelegen hatten, erfroren bei: — 1,5; — 1,5; — 1,2; — 1,4°, während gleiche Kartoffeln, die bei Zimmertemperatur gelegen hatten, erfroren bei: — 1,2; — 1,1; — 1,1; — 1,1° Celsius[2]).

Müller-Thurgau sieht den Grund für das verschiedene Verhalten der Kartoffeln in der Verschiedenheit der Konzentration der Zellsäfte. Er erklärt den tieferen Erfrierungspunkt der kaltgelagerten Kartoffeln mit dem größeren Zuckergehalte des Zellsaftes und spricht den Gedanken aus, daß es sich bei dem Süßwerden der Kartoffel um eine Anpassungserscheinung handeln könne.

Während Müller-Thurgau nur gelegentlich diesen Einfluß der umgebenden Temperatur auf den Erfrierungspunkt der Kartoffel mit wenigen Angaben berührt, habe ich denselben durch Abänderung der Versuche bis ins einzelne geprüft und genaue Messungen angestellt.

So darf ich hoffen, daß meine Arbeit die Anschauungen, welche über das Erfrieren der Pflanzen vorhanden sind, in einigen Punkten klären wird.

---

[1]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XI. 1882 S, 826, 827.

[2]) Weitere Zahlen könnte man den Tabellen aus d. Landwirt Jahrb. XI. 1882 S. 492 entnehmen.

Besonders kann ich schon von Anfang an hervorheben, daß die Anschauungen über dies Problem, welche Pfeffer und Mez vertreten, durch meine Arbeit gestützt werden.

B. Untersuchungen über den Kältetod der Kartoffel.

I. Das Erfrieren der Kartoffelknollen.

a) Die absoluten Todespunkte der Kulturrasse „Magnum bonum".

1. Untersuchungen über das Verhalten verschiedener Teile derselben Knolle gegen niedere Temperatur.

Bei meinen Untersuchungen über das Erfrieren der Kartoffelknolle hatte ich zunächst zu prüfen, ob sich Kartoffeln derselben Rasse in bezug auf den Kältetodespunkt gleich verhalten oder ob wesentliche individuelle Unterschiede vorhanden sind. Ferner war es nötig zu wissen, ob sich alle Teile gegen die Einwirkungen der Kälte gleich verhalten, oder ob ein Gewebeteil früher als der andere erfriert. Müller-Thurgau[1]) kommt auf Grund seiner Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß die Kartoffel nicht gleichmäßig erfriert, sondern daß die erste, nach seinen Anschauungen mit dem Erfrieren gleichzeitige Eisbildung in der Kambialzone auftritt, und zwar sei hier wieder der Teil, welcher der Anheftungsstelle zugekehrt ist (die Basis der Knolle) am empfindlichsten gegen die Einwirkung der Kälte. Hieraus folgert er, daß die Temperatur, welche die erste Eisbildung ermöglicht, für das Kambium höher liegt als für die anderen Gewebeteile und für die Basis wieder höher als für den oberen Teil. Diese Verschiedenheiten im Gefrieren und dementsprechend nach seiner Theorie im Erfrieren erklärt Müller-Thurgau aus dem verschiedenen Wassergehalte der einzelnen Gewebepartien der Kartoffelknolle.

Ich habe bei meinen Versuchen bald Stücke aus dem Innern, bald Kambium enthaltende aus den äußeren Partien sowie abwechselnd solche aus Basis und oberen Teilen genommen, aber ich habe, wie die unten angegebenen Tabellen zeigen, für die verschiedenen Teile immer denselben Erfrierpunkt gefunden. Nur die Partien, die sich unmittelbar unter der Schale befanden, wurden durch die Korkschicht gegen die eindringende Kälte geschützt; sie erfrieren nicht so leicht wie die nicht von Kork bedeckten.

Aus den angegebenen Daten, welche nur eine Versuchsreihe darstellen und vielfach nachgeprüft wurden, geht hervor, daß bei Kartoffeln derselben Rasse bedeutende individuelle Verschiedenheiten nicht vorhanden sind, daß insbesondere die Größenverhältnisse der einzelnen Knollen für das Erfrieren ohne Einfluß sind. Der Todespunkt liegt für alle drei Kartoffeln bei —44,1 Skalenteilen = — 3,02°.

---

[1]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XV. 1886 S. 455 und 456. Dazu Tafel VII. Figur 1—6.

Tabelle 1.

Erfrierpunkt der Teile einer Kartoffelknolle.

Kleine Kartoffel.

Innere Gewebe lebten		Kambium lebte	Innere Gewebe tot	Kambium tot
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	— 43,4	— 42,4	— 45,1	— 44,2
		— 43,5	— 46,2	— 45,2
				— 46,4
Mittlere Kartoffel.				
Temp. in Teilstrichen	— 43,3	— 42,0	— 44,2	— 44,2
		— 43,8	— 45,5	— 45,8
		— 44,0		
		— 44,0		
Große Kartoffel.				
Temp. in Teilstrichen	— 39,0	— 41,0	— 44,2	— 44,2
	— 41,5	— 41,0	— 45,8	— 45,7
	— 43,1	— 43,5	— 46,8	— 46,7
	— 44,0	— 44,0	— 48,5	— 47,0

Außerdem glaube ich aus den Versuchen schließen zu dürfen, daß eine Differenziation für Kältewirkung in den verschiedenen Gewebepartien bei der Kartoffel nicht vorhanden ist. Da die Kälte von außen eindringt, werden die der Schale naheliegenden Partien zuerst unter ihr zu leiden haben. Daraus erklärt sich das Auftreten der ersten erfrorenen Zellpartien in der Kambiumschicht der von Müller-Thurgau untersuchten Kartoffeln.

Die Temperatur der Eisbildung in den verschiedenen Geweben habe ich nicht untersucht. Es ist aber aus theoretischen Gründen außerordentlich wahrscheinlich, daß der Gefrierpunkt des Zellsaftes stärkearmer Zellen etwas höher liegt, als der des Zellsaftes stärkereicher. Ohne daß dabei eine verschiedene molekulare Konzentration der Salzlösungen vorzuliegen braucht, wirkt die Anhäufung der Stärke durch Verkleinerung der Safträume und durch die hieraus entstehende Vergrößerung der kapillaren Spannung des Saftes in dem Sinne auf den Zellsaft, daß sein Gefrierpunkt herabgesetzt wird. Auf den Erfrierpunkt hat aber diese Herabsetzung keinen Einfluß.

2. Einfluß plötzlicher Temperaturschwankungen.

Nach der Erfriertheorie Duhamels[1]) und Senebiers[2]) sollten die Pflanzen durch Zerreißen der Zellen, welches durch das sich in den Zellen

[1]) Duhamel, Observations des différents effets qui produisent sur les vegetaux les grandes gelées d'hiver et les petites gelées du printemps. Mém. de l'Acad. roy. des sciences de Paris A. 1737 S. 273—298. Phys. des arbres. Paris 1758 I. II. S. 343—353.

[2]) Senebier, Physiol. végétal. T. III. Chapitre 8, De la chaleur et du froid relativement aux plantes.

bildende Eis hervorgerufen würde, getötet werden. Diese Ansicht wurde besonders von Göppert[1]) und Sachs[2]) bekämpft. Müller-Thurgau[3]) und Molisch[4]) wiesen durch mikroskopische Untersuchungen nach, daß das Eis sich zuerst in den Intercellularen bilde, daß diese Anfänge der Eisbildung auch das cellulare Wasser an sich ziehen und daß, wenn Zerreißungen vorkommen, diese wesentlich nur zu einer Vergrößerung der Intercellularräume, nicht aber zu einer letalen Schädigung der lebenden Gewebe führen. Welche Ursachen bewirken, daß die Eisbildung in den Intercellularen (und in großen Gefäßen) beginnt, hat Mez[5]) zuerst erklärt.

Gestützt auf die Angaben älterer Autoren, auf die Erfahrungen der praktischen Gärtner und Landwirte, vor allem aber auf Grund seiner vielfachen Untersuchungen über das Gefrieren und Auftauen der Pflanzen, kam Sachs[6]) zu der Überzeugung, daß das Gefrieren für die Pflanzen unschädlich sei und daß für das Weiterleben oder den Tod nur die Art des Auftauens in Frage komme. Durch langsames Auftauen könnte die Pflanze vor dem Absterben bewahrt werden.

Durch die Untersuchungen von Müller-Thurgau[7]) und Molisch[8]) ist jedoch der Beweis erbracht worden, daß eine Beeinflußung des Lebens durch langsames oder schnelles Auftauen nicht zu bemerken war bis auf wenige Fälle[9]), die aber durch Mez[10]) ihre Erklärung gefunden haben.

Auch bei meinen Untersuchungen habe ich darauf geachtet, ob schnelleres oder langsameres Gefrieren beziehungsweise Auftauen für das Erfrieren der Kartoffel von Bedeutung wäre. Durch größeren oder geringeren Zusatz von Salz zu dem zerstoßenen Eise konnte ich die Temperatur der Kältemischung von — 1° bis auf — 15° abstufen, und so war es mir möglich, das Untersuchungsobjekt schnell oder langsam gefrieren zu lassen. Eine weitere Verzögerung des Gefriervorganges konnte ich dadurch herbeiführen, daß ich in das Gefriergefäß eine größere Menge Wasser gab. So gelang es mir, größere Objekte einerseits in 15 Minuten gefrieren und wieder auftauen zu lassen, andererseits konnte ich die Versuche über einen ganzen Tag ausdehnen. Das schnelle Auftauen bewirkte ich dadurch, daß ich das Gefriergefäß in warmes Wasser eintauchte, das langsame dadurch, daß ich das Kartoffelstück in die kalte Luft über der Kältemischung brachte.

---

1) Göppert, l. c. S. 4, 25.

2) Sachs, Versuchsstationen, 1860, Bd. II. S. 179. Flora 1862, S. 20.

3) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. IX. 1880 S. 134, XV. 1886 S. 453.

4) Molisch, l. c. S. 24. 5) Mez, l. c. S. 103.

6) Sachs, Landwirt. Versuchsstationen, 5. H., 1860 S. 177, Kristallbildungen bei dem Erfrieren und Veränderung der Zellhäute bei dem Auftauen saftiger Pflanzenteile. Bericht über die Verhandl. der K. Sächs. Ges. d. Wissenschaften zu Leipzig. 1860 S. 40.

7) Müller-Thurgau, 1880 S. 517 ff. 8) Molisch, l. c. S. 34—47.

9) Molisch, l. c. S. 47. H. Müller-Thurgau, Über das Erfrieren des Obstes. Schweiz. Zeitschr. für Obst- und Weinbau. 1894.

10) Mez, l. c. S. 111, 112.

Tabelle 2.

Wirkung raschen und langsamen Gefrierens und ebensolchen Auftauens auf den Tod der Kartoffelknolle.

Kartoffel rasch gefroren, rasch aufgetaut. Versuchsdauer 15 Minuten.

	1. Objekt. Die Stücke lebten	1. Objekt. Die Stücke waren tot	2. Objekt. lebten	2. Objekt. tot
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	33,6	36,7	33,9	36,3
	34,2	37,0	34,3	37,5
	36,0	38,7	35,8	38,5
			36,2	39,2

Rasch gefroren, langsam aufgetaut. Versuchsdauer bis 5 Stunden.

	Die Stücke lebten	Die Stücke waren tot	lebten	tot
Temp. in Teilstrichen	32,5	36,9	32,7	37,2
	32,8	37,4	33,8	37,8
	34,2	38,0	35,6	38,0
	35,7	38,2	35,7	38,3
	36,2	39,7	36,1	39,4

Langsam gefroren, rasch aufgetaut. Versuchsdauer bis 4 Stunden.

	Die Stücke lebten	Die Stücke waren tot	lebten	tot
Temp. in Teilstrichen	33,7	36,3	34,8	36,4
	33,8	36,5	34,9	36,9
	34,2	37,2	35,6	37,5
	34,5	37,5	35,8	38,2
	35,7	38,8	36,0	38,3
	35,8	38,8		

Langsam gefroren, langsam aufgetaut. Versuchsdauer bis 7 Stunden.

Die Stücke lebten		Die Stücke waren tot
Temp. in Teilstrichen	32,0	36,3
	33,9	36,6
	34,7	37,1
	34,8	38,3
	35,8	

Der Todespunkt aller untersuchten Kartoffeln liegt bei 36,2 Skalenteilen = — 2,41°. Aus den dargestellten Versuchsreihen geht hervor, daß es für das Leben oder den Tod der Kartoffel ganz gleichgültig ist, ob sie rasch gefriert und rasch wiederauftaut, oder ob sie langsam abgekühlt und langsam wieder erwärmt wird. Für die Pflanze ist es von großer Wichtigkeit[1]), daß sie gegen plötzliche Temperaturschwankungen wenig empfindlich ist,

[1]) Siehe Pfeffer, l. c. II. S. 300 und S. 93.

da sie ja im Freien oft sehr große und rasch eintretende Temperaturunterschiede auszuhalten hat.

Meine Ergebnisse stimmen mit denen von Molisch[1]), Frisch[2]) und Mez[3]) überein; alle diese Forscher vermochten keine Beschädigungen der Pflanzen durch rasches Auftauen festzustellen.

Ein gleiches Verhalten der Pflanzen im allgemeinen hat auch Müller-Thurgau[4]) beobachtet, bezüglich der Kartoffel aber infolge seiner primitiven Versuchsmethode nicht feststellen können, da er, wie oben dargelegt, das kleine auch hier vorhandene Intervall zwischen Gefrierpunkt und Erfrierpunkt nicht zu messen vermochte.

3. Abhängigkeit der Erfrierpunkte von der Außentemperatur.

Nachdem ich mich, wie oben dargestellt, davon überzeugt hatte, daß sowohl die Knollen derselben Rasse, wie auch die Gewebeteile derselben Knollen sich ganz gleichmäßig gegen die Kälte verhalten, und nachdem ich auch für die Kartoffel nachgewiesen hatte, daß für ihr Leben oder Sterben die Schnelligkeit der Abkühlung und Wiedererwärmung gleichgültig ist, konnte ich an die Hauptaufgabe meiner Arbeit gehen, nämlich an die Beantwortung der Frage nach dem absoluten Kältetodespunkte und seinem Verhältnis zum Gefrierpunkt.

Als absoluter Todespunkt für die Kartoffelknolle wird von Müller-Thurgau[5]) — 1° angegeben. Bei meinen Versuchen hat sich zunächst herausgestellt, daß diese Temperaturbestimmung unrichtig, nämlich viel zu hoch ist.

Die Differenz zwischen meinen und Müllers Resultaten kommt wohl von der Verschiedenheit der Untersuchungsmethoden her. Seine Versuche[6]) wurden in der Weise angestellt, daß er Kartoffelknollen mit einem Korkbohrer mit Löchern versah und in diese Löcher Quecksilberthermometer einführte. Dabei hat er das Glas des Quecksilbergefäßes dem Gewebe nicht unmittelbar angelegt, sondern hat eine, wenn auch dünne, so doch vorhandene und in ihrer Wirksamkeit zu beträchtlichen Fehlern führende isolierende Luftschicht zwischen dem Quecksilbergefäß und dem zu untersuchenden Objekte gelassen. Der Fehler, welcher auf diese Weise entstand, beträgt fast einen Grad Celsius, da (wie ich unten darzustellen haben werde) die höchste Erfriertemperatur der von mir untersuchten Knollen (siehe unten die bei Untersuchung der Malta-Kartoffeln gewonnenen Resultate) bei — 1,71° bis — 1,78° liegt.

---

[1]) Molisch, l. c. S. 34—47.
[2]) Frisch, Sitzungsber. der Wiener Akadem. 1877, Bd. 75, Abt. 3, S. 257.
[3]) Mez, l. c. S. 111.
[4]) Müller-Thurgau, l. c. S. 517 ff.
[5]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. IX. 1880 S. 147, XV. 1886 S. 456.
[6]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. IX. 1880 S. 168, XV. 1886 S. 455.

Ferner ist es nach meinen Untersuchungen unzulässig, von einem feststehenden Kältetodespunkte der Kartoffel zu sprechen, weil ich gefunden habe, daß die verschiedenen Rassen sich verschieden verhalten und daß dieselbe Knolle, wie aus meinen unten wiedergegebenen Tabellen ersichtlich ist, je nach ihrer Vorbehandlung sehr verschiedene absolute Todespunkte aufweisen kann.

Hier interessiert zunächst einmal der höchste gefundene Wert bei der Sorte „Magnum bonum". Derselbe wurde bei Knollen, welche vier Wochen lang in einem Warmhause bei einer ungefähr gleichmäßigen Temperatur von 22,5° gehalten worden waren, auf 31,2 Skalenteile = — 2,14° bestimmt. Die folgenden Tabellen zeigen die Untersuchungen, welche zu dieser Bestimmung geführt haben.

Tabelle 3.

Erfrierpunkte der Sorte „Magnum bonum" nach vierwöchentlicher Lagerung bei 22,5°.

	Kleine Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
	Stücke lebten	Stücke erfroren	Stücke lebten	Stücke erfroren
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	30,8	32,3 33,9 36,8	30,4 26,3 31,1	31,3 33,7 31,6 35,3 33,1 39,0 34,3

Große Kartoffel.

	Die Stücke lebten	Die Stücke erfroren
Temp. in Teilstrichen	28,7 29,6 30,0 31,1	31,4 32,0 33,0 36,5

Auf Grund dieser und vieler hier nicht mit angegebenen Beobachtungen ergibt sich also:

	Die Kartoffel lebte noch bei	Die Kartoffel war erfroren bei
Temp. in Teilstrichen	26,3	31,3
	27,2	31,4
	27,3	31,6
	28,7	32,0
	29,6	33,1
	30,0	33,7
	30,4	33,9
	30,8	34,3
	31,1	34,5
	31,1	35,0

Der Todespunkt liegt also bei 31,2 Skalenteilen = — 2,14°.

Für Kartoffeln „Magnum bonum", die sieben Wochen im Warmhause bei 22,5° gelegen hatten, wurde der Todespunkt gleichfalls bei 31,2 Skalenteilen = — 2,14° ermittelt.

Tabelle 4.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum" nach siebenwöchentlicher Lagerung bei 22,5°.

	Kleine Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
	Die Stücke lebten	erfroren	Die Stücke lebten	erfroren
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	27,3	32,1	29,4	31,5
	29,6	34,0	30,2	33,2
	30,4	34,7	30,8	34,5

	Die Stücke lebten	Die Stücke waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	27,3	31,5
	29,4	32,1
	29,6	32,4
	30,2	33,2
	30,4	34,0
	30,8	34,5
		34,7

Aus den dargestellten Versuchen geht hervor, daß Kartoffeln der Sorte „Magnum bonum", welche vier und welche sieben Wochen bei ungefähr 22,5° im Warmhause gelegen hatten, gleichmäßig bei — 2,14° erfroren.

Anders verhalten sich Kartoffeln, welche bei niedriger Temperatur gelagert hatten.

Der Erfrierpunkt lag für Kartoffeln, die vier Wochen, bezw. sieben Wochen in einem trockenen, warmen Zimmer bei einer Temperatur von ungefähr + 18° aufbewahrt worden waren, gleichmäßig bei 34,5 Skalenteilen = — 2,36°.

Tabelle 5.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum" bei vierwöchentlicher Lagerung bei 18°.

	Kleine Kartoffel, vier Wochen aufbewahrt		Mittlere Kartoffel, vier Wochen	
	Die Stücke lebten	waren erfroren	lebten	erfroren
Temp. in Teilstrichen	33,9	36,0	32,4	35,7
	34,2	37,5	33,6	35,8
		37,8	34,0	36,4
			34,3	34,0

Tabelle 6.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum“ bei siebenwöchentlicher Lagerung bei 18°.

	Kleine Kartoffeln, sieben Wochen aufbewahrt		Große Kartoffeln, sieben Wochen aufbewahrt	
	Die Stücke lebten	waren erfroren	lebten	erfroren
Temp. in Teilstrichen	31,4	35,0	32,0	34,6
	32,8	36,4	32,7	36,1
	33,9	37,8	33,5	36,4
		38,7	33,7	37,7
			33,8	39,0
			34,5	39,2

	Die Stücke lebten	waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	33,5	34,6
	33,6	35,0
	33,7	35,8
	33,8	35,7
	33,9	35,7
	33,9	36,0
	34,0	36,1
	34,2	36,4
	34,4	36,4
	34,5	36,4

Wesentlich anders stellt sich die Erfriertemperatur von Kartoffeln, welche längere Zeit bei niederer Temperatur aufbewahrt wurden. Ich habe, um diese Frage experimentell zu untersuchen, ein größeres Quantum Kartoffeln im Eisschrank bei ungefähr 0 bis + 1° konstanter Temperatur längere Zeit gelagert und bei der Untersuchung dieser Objekte gefunden, daß ihre Erfrierpunkte ganz wesentlich unter den ursprünglichen Erfrierpunkt gefallen waren. Derartig behandelte Objekte erfroren nämlich bei 45,0 Skalenteilen oder bei — 3,08°.

Tabelle 7.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum“ nach vierwöchentlicher Lagerung im Eisschrank bei 0°.

	Mittlere Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
	Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren tot
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	39,4	45,7	42,0	45,2
	41,0	45,7	42,4	45,5
	41,5	45,8	43,2	45,8
	42,8	47,0	44,0	46,2
	44,0	48,5	44,5	46,4

Tabelle 8.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum“ nach vierwöchentlicher Lagerung auf Eis.

	Die Stücke lebten	waren tot	Die Stücke lebten	waren tot
Temp. in Teilstrichen	41,4	45,0	40,3	45,6
	40,6	46,2	40,5	45,8
	41,4	46,7	41,3	46,2
	42,2	46,8	42,9	47,0
	43,2	47,0	44,5	
	44,8			

Tabelle 9.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum“ nach siebenwöchentlicher Lagerung auf Eis.

	Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	41,4	45,0	40,3	45,7
	42,1	45,8	40,5	46,2
	42,2	46,4	41,3	47,3
	43,4	46,9	42,9	47,5
	44,8	47,0	44,8	

	Die Stücke lebten	Die Stücke waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	43,2	45,0
	43,2	45,0
	43,4	45,2
	44,0	45,5
	44,0	45,6
	44,2	45,7
	44,5	45,7
	44,5	45,7
	44,8	45,8
	44,8	45,8

Kartoffeln, die in der Eiskiste bei + 3—4° aufbewahrt worden waren, erfroren bei 42,5 Skalenteilen oder bei — 2,91°.

Tabelle 10.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum“ nach vierwöchentlicher Lagerung bei + 3—4°.

	Mittlere Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
	Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren erfroren
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	41,0	43,4	38,7	42,8
	42,0	43,5	40,0	42,8
	42,3	44,0	41,3	43,0
		45,4	42,4	44,7
		48,0		

Mittlere Kartoffel

	Die Stücke lebten	Die Stücke waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	38,7	42,8
	40,2	42,8
	41,0	43,0
	41,3	43,1
	42,0	43,4
	42,3	43,5
	42,6	43,9

Die Aufbewahrung im Kühlen hat hiernach gegenüber der Aufbewahrung in der Wärme eine Erniedrigung des Erfrierpunktes um 13,8 Skalenteile gleich 0,94 ° ergeben.

Zwischen den beiden Extremen, den im Warmhaus gehaltenen und den auf Eis gelagerten Kartoffeln hielten sich Kartoffeln, welche bei Zimmertemperatur (10—12 °) aufbewahrt waren. Ihr Erfrierpunkt lag bei 38,5 Skalenteilen oder bei — 2,63 °.

Tabelle 11.

Erfrierpunkt der Sorte „Magnum bonum" nach Lagerung bei + 10—12°.

	Kleine Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
	Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	35,1	38,6	35,9	38,5
	37,6	38,6	36,0	39,0
	38,1	41,3	36,1	39,0
			36,3	41,1
			38,1	41,4
				41,6

Große Kartoffel

	Die Stücke lebten	Die Stücke waren erfroren
Temp. in Teilstrichen	35,5	38,5
	35,9	38,6
	36,0	38,6
	36,1	39,0
	36,3	39,0
	37,6	39,4
	38,0	39,8
	38,1	41,1
	38,1	41,3
	38,4	41,3

Ähnliche Schwankungen, wie sie die Erfrierpunkte aufwiesen, waren auch bei den Gefrierpunkten vorhanden. Die Kartoffeln „Magnum bonum" gefroren bei einer höheren Temperatur, wenn sie im Warmhause gelegen hatten, und ihr Gefrierpunkt lag tiefer, wenn sie in der Eiskiste gewesen waren.

Bei allen Kartoffeln aber, gleichviel was für eine Vorbehandlung sie erfahren hatten, war zu beachten, daß der Gefrierpunkt über dem Erfrierpunkt lag. Der Unterschied war zwar nicht groß, aber doch stets mit Sicherheit meßbar. So liegt der Erfrierpunkt der Kartoffeln aus dem Warmhause bei 31,2 Skalenteilen oder bei — 2,14°, ihr Gefrierpunkt liegt bei 29,9 Skalenteilen oder — 2,04°. Die Differenz unterhalb des Gefrierpunktes bis zum Erfrierpunkte beträgt nur 0,10°; dieser Unterschied ist sehr klein und nur mit relativ feinen Meßinstrumenten festzustellen. Es ist begreiflich, daß Müller-Thurgau mit seinen oben geschilderten unvollkommenen Hilfsmitteln das kleine Intervall zwischen Ge- und Erfrierpunkt übersah. Für die Theorie des Erfrierens ist aber dieses Intervall von Wichtigkeit; denn es zeigt, daß auch bei der Kartoffel Gefrieren und Erfrieren nicht zusammenfallen.

Der Gefrierpunkt der Kartoffeln, die im Zimmer aufbewahrt worden waren, lag bei 36,0 Skalenteilen oder bei — 2,46°, der Erfrierpunkt dagegen lag bei 38,5 Skalenteilen oder — 3,63°. Hier beträgt der Unterschied 0,17°. Am größten war der Unterschied für die Kartoffeln, die auf Eis gelegen hatten. Diese Knollen erfroren bei 45,0 Skalenteilen oder bei — 3,08°. Ihr Gefrierpunkt dagegen lag bei 38,0 Skalenteilen oder — 2,60°. Hier beträgt die Differenz fast einen halben Grad.

Diese Herabsetzung des Gefrierpunktes hat ihre Ursache in der Zuckeranhäufung, welche in der Kartoffelknolle aufgetreten war, und welche im folgenden Abschnitte des Näheren zu behandeln sein wird.

Den größten Wert an Zucker fand Müller-Thurgau[1]) mit 36,18 gr auf 1000 gr Frischgewicht.

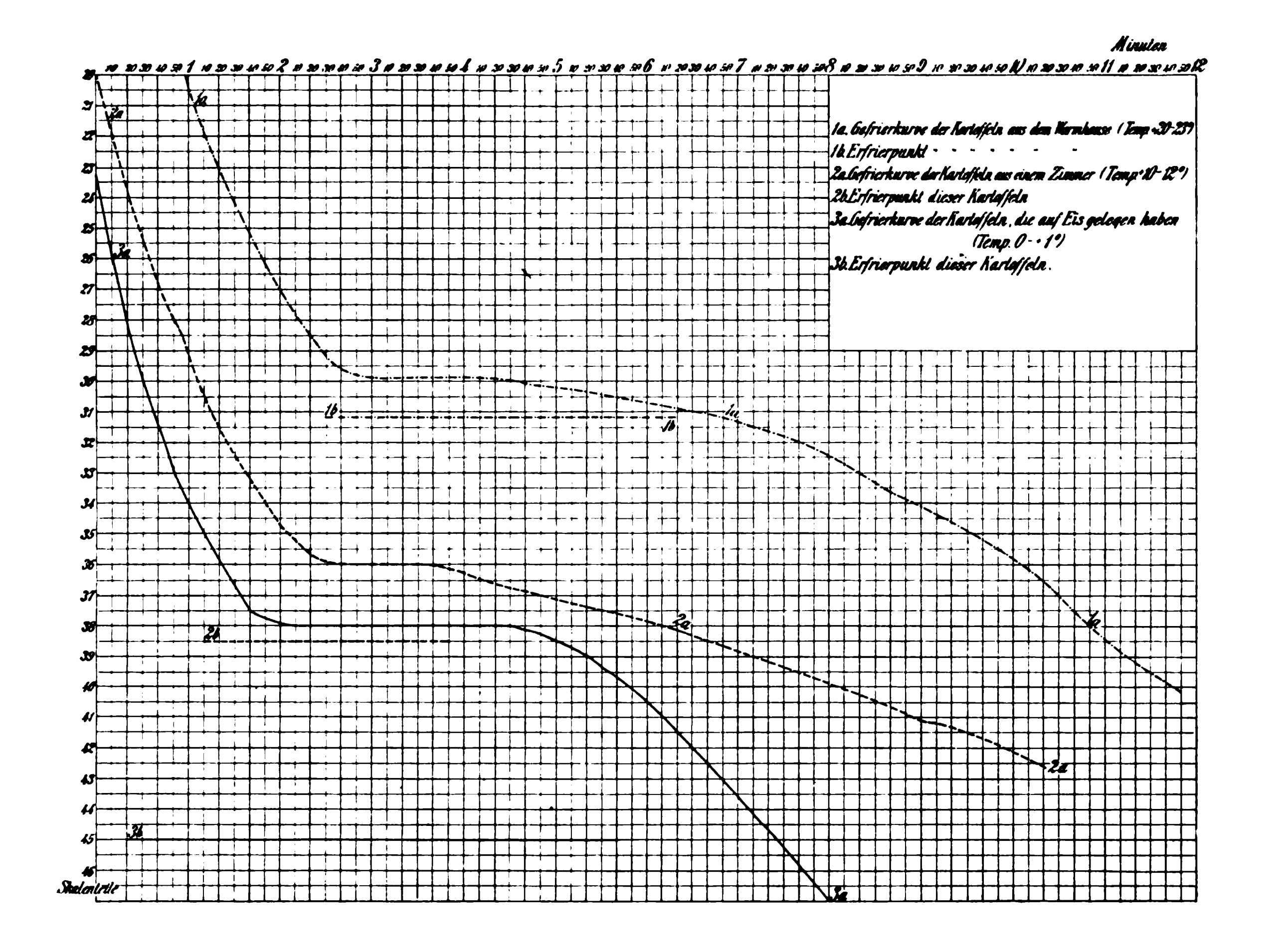
Diese Zuckermenge setzt den Gefrierpunkt um 0,434° = 6,2 Skalenteile herab. Die Differenz in den von mir beobachteten Gefrierpunkten der warm- und kaltgelegten Kartoffeln beträgt 8 Skalenteile. Der gefundene Wert stimmt ungefähr mit dem berechneten überein.

Über das Verhältnis vom Gefrierpunkt zum Erfrierpunkt geben am besten die Seite 19 eingefügten graphischen Darstellungen Aufschluß. Um den Verlauf des Gefriervorganges genauer verfolgen zu können, habe ich die Kartoffelstücke nicht in Wasser, sondern in Luft gefrieren lassen. Um aber hierbei Unterkühlungen auszuschließen, ließ ich zunächst auf dem Boden des Gefriergefäßes etwas Wasser gefrieren, auf das ich dann die Untersuchungsobjekte aufsetzte. Die Ablesungen wurden nach der Uhr von 10 zu 10 Sekunden vorgenommen.

Aus den oben dargestellten Versuchen ergibt sich das interessante Resultat, daß die Kartoffel keinen spezifischen Gefrier- und Kältetodespunkt besitzt, sondern daß diese Punkte je nach der Temperatur, welche vorher auf die Objekte eingewirkt hat, wechseln.

---

[1]) Siehe oben S. 3.


Minuten
1a. Gefrierkurve der Kartoffeln aus dem Warmhause (Temp. +30-23°)
1b. Erfrierpunkt
2a. Gefrierkurve der Kartoffeln aus einem Zimmer (Temp. +10-12°)
2b. Erfrierpunkt dieser Kartoffeln
3a. Gefrierkurve der Kartoffeln, die auf Eis gelegen haben (Temp. 0 - +1°)
3b. Erfrierpunkt dieser Kartoffeln.
Skalenteile

4. Der Einfluß der Zuckerbildung auf die Lage der Erfrierpunkte.

Zur Feststellung, ob irgend welcher erkennbare Einfluß des durch Zuckerbildung gesteigerten osmotischen Druckes auf die Herabsetzung des Kältetodespunktes vorhanden ist, habe ich folgende Versuche angestellt:

Zunächst wurde in einem genau abgewogenen Quantum bei ungefähr 8° gehaltener Kartoffeln die Menge des Zuckers bestimmt und zugleich wurde der absolute Todespunkt dieser Kartoffeln festgelegt. Sie erfroren bei 39,0 Skalenteilen oder — 2,67°. Für die Kartoffeln, die 14 Tage auf Eis gelegen hatten, lag der Erfrierpunkt bei 43,7 Skalenteilen oder bei — 2,99°.

Von diesen beiden, verschieden vorbehandelten Objekten wurden Bestimmungen des im Zellsafte enthaltenen Zuckers nach den Vorschriften von Herzfeld[1]) in folgender Weise ausgeführt[2]): 150 gr Kartoffeln wurden sorgfältig zerrieben und der Saft ausgepreßt. Die Rückstände wurden mit einer abgemessenen Menge destillierten Wassers mehrmals ausgewaschen und abgepreßt. Der stark gefärbte Saft wurde mit Knochenkohle versetzt und längere Zeit gekocht, bis er klar wurde. Er wurde dann abfiltriert und solange gekocht, bis das zum Aus- und Nachwaschen verwendete Wasser verdampft war. Ich erhielt so den Saft, wie er in der Kartoffel vorlag. Um Gährung zu vermeiden, setzte ich einige Tropfen Chloroform zu.

Zur Bestimmung des Zuckers wurden folgende Lösungen nach den Vorschriften von Fehling hergestellt:

34,639 gr reinstes Kupfersulfat wurden zu 500 ccm gelöst. Das Kupfersulfat muß mehrmals umkristallisiert werden, darunter mindestens einmal aus verdünnter Salpetersäure. 173 gr Seignettesalz löst man in 400 ccm Wasser auf und setzt dazu 100 ccm Natronlauge, die 516 gr Ätznatron im Liter enthält.

Nach den Vorschriften, die Herzfeld gegeben hat, müssen 10 gr zu 50 ccm gelöst werden. Bei meinem Zuckersafte entsprachen 1 ccm nicht genau einem Gramm. Der Kartoffelsaft der Kartoffeln aus dem Zimmer hatte das spezifische Gewicht[3]) 1,0261 gr oder ein Gramm des Saftes war gleich 0,97293 ccm. Der Saft der kaltgelagerten Kartoffel wog 1,0286 gr oder ein Gramm war gleich 0,97218 ccm. 50 gr Saft — 48,61 ccm beziehungsweise 48,65 ccm Saft — füllte ich auf zu 250 ccm. Diese Mischung enthielt also laut Vorschrift in 50 ccm Lösung 10 gr der untersuchten Flüssigkeit.

---

[1]) Nach Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden. Berlin 1900. III. S. 283—285.

[2]) Diese Untersuchungen wurden im chemischen Laboratorium der Univ. Halle mit gütiger Erlaubnis des Herrn Prof. Dr. Vorländer, dem ich für seine Förderung meiner Arbeit ergebenst danke, ausgeführt.

[3]) Diese Untersuchungen wurden mit Hilfe des Pyknometers im physikalischen Institut zu Halle ausgeführt. Für die Erlaubnis hierzu bin ich Herrn Prof. Dr. Dorn zu besonderem Danke verpflichtet.

50 ccm dieser Lösung versetzte ich mit 25 ccm Kupfersulfat und mit 25 ccm Seignettesalzlösung. Die verschiedenen Bestandteile wurden in einer Erlenmeyer-Kochflasche von etwa 300 ccm Inhalt durch Umschwenken gründlich gemischt und über einem starken Brenner in wenigen Minuten zum Sieden erhitzt. Von dem Augenblicke an, mit welchem das Kochen eintrat, erhielt ich noch genau zwei Minuten mit einem kleinen Brenner im Sieden, verdünnte dann sofort mit 100 ccm kaltem, luftfreien Wasser, um die Flüssigkeit abzukühlen und dadurch ein nachträgliches Abscheiden von Kupferoxydul zu verhindern. Als Filter benutzte ich ein Soxhletsches Filterröhrchen, in dessen Verengung ein mehrfach durchlöcherter Platinkonus und darauf eine ungefähr zwei Zentimeter hohe Asbestschicht kam. Der verwendete Asbest muß vorher besonders gereinigt werden. Ich habe ihn mit verdünnter Salzsäure ausgekocht, dann mit heißem destillierten Wasser ausgewaschen und hierauf mit Alkohol und Äther nachgespült. Unter Durchleiten von trockener Luft wird er ausgeglüht, im Exsikkator erkalten gelassen, und darauf wird das Röhrchen gewogen.

Sobald sich das Kupferoxydul etwas abgesetzt hatte, begann ich zu filtrieren. Auf das Röhrchen, das auf einer Saugflasche befestigt war, wurde ein Trichterchen aufgesetzt, der Asbest befeuchtet, die Flüssigkeit aufgegossen und die Luftpumpe angestellt. Mit kaltem Wasser wurde der Rückstand auf das Filter gespritzt. Nun wusch ich mit einem halben Liter kochenden Wassers, darauf mit 20 ccm absolutem Alkohol nach und trocknete das Asbestrohr in einem Trockenschranke. Darauf schloß ich es an einen Gasometer an, leitete trockene Luft durch und erhitzte die Stellen des Asbestes, an denen der Niederschlag lag. Durch dieses schwache Erhitzen soll einerseits das Kupferoxyd umgewandelt werden, andererseits sollen die Verbindungen, die das Kupfer mit organischen Bestandteilen eingegangen sein könnte, zerstört werden. Nun verband ich das Rohr mit einem Wasserstoffapparat, leitete zunächst langsam, dann stärker Wasserstoff durch. Durch langsames Erwärmen wurde das Kupferoxyd in metallisches Kupfer umgewandelt. Die Reduktion kann man als beendet ansehen, sobald die Wassertröpfchen, die sich während derselben gebildet haben, verdampft sind. Das Rohr ließ ich im Wasserstoffstrom erkalten und wog es dann sofort.

Ich fand für die Kartoffeln, die bei 8° gelegen hatten

0,6722 gr Zucker und
0,6788 „ „

im Durchschnitt: 0,6755 gr Zucker.

Für die Kartoffeln, die auf Eis gelegen hatten, und deren Saft noch um die Hälfte verdünnt war, die also in 50 ccm Lösung nur 5 gr Zuckerlösung enthielten, fand ich

1,042 gr Zucker und
1,039 „ „

im Durchschnitt: 1,0405 gr Zucker.

Die kaltgelagerten Kartoffeln hatten also in 14 Tagen 0,3650 gr Zucker pro 100 gr Zellsaft angehäuft.

Der Gefrierpunkt der Kartoffeln, die auf Eis gelegen haben, kann nur durch diesen Überschuß an Zucker gegenüber den warmgelegenen heruntergegangen sein. Die Gefrierpunktserniedrigung[1]) beträgt theoretisch, wenn keine Dissoziation und Zersetzung stattfindet: $m = \frac{P \cdot k}{\Delta}$.

Hierbei bedeutet:

m = Grammolekül (für $C_6H_{12}O^6 + H_2O = 198{,}1$)[2]),
P = Gramm des gelösten Stoffes in 1000 gr Lösungsmittel,
Δ = Gefrierpunktserniedrigung,
k = Konstante[3]), nur abhängig vom Lösungsmittel (für Wasser 1,9).

$$\Delta = \frac{3{,}65 \cdot 1{,}9}{198{,}1} = 0{,}0350^0.$$

Die Resultate meiner Untersuchungen waren, daß die Erniedrigung des Gefrierpunktes des Zellsaftes durch den vorhandenen überschüssigen Zucker 0,035° beträgt, während die Erniedrigung des Gefrierpunktes unter Einfluß der Kaltlagerung 0,32° beträgt. Irgend welcher Parallelismus zwischen diesen Zahlen ist nicht aufzufinden und damit auf experimentellem Wege nachgewiesen, daß die Erhöhung des osmotischen Druckes durch den gebildeten Zucker nicht die Ursache für die Herabsetzung des Kältetodespunktes sein kann.

In den von mir untersuchten Kartoffeln, die bei Zimmertemperatur gelegen hatten, fand ich mehr Zucker, als Müller-Thurgau[4]) für diese Temperatur hat nachweisen können. Eine Erklärung für diesen Unterschied ist darin zu suchen, daß meine Zahlen sich auf 1000 gr Saft beziehen, während Müller-Thurgau den Zucker auf 1000 gr Frischgewicht berechnet hat.

Ich muß ferner betonen, daß die gefundenen Werte nicht ganz der Wirklichkeit entsprechen, da in der Kartoffel noch geringe Mengen Rohrzuckers[5]) vorkommen. Doch ist dieser Fehler in Anbetracht des hohen Molekulargewichts und dementsprechend der geringen osmotischen Wirkung des Rohrzuckers viel zu gering, als daß er die Resultate wesentlich beeinflussen könnte. Ferner ist für die Konstante Wasser angenommen, während der Kartoffelsaft ein Gemisch verschiedener Lösungen ist. Doch kann

---

[1]) O. E. v. Lippmann, Chemie der Zuckerarten S. 120.

[2]) Nach Hollemann, Organische Chemie S. 234.

[3]) Meyer-Wildermann, Experimentelle Feststellungen der van t'Hoffschen Konstanten in sehr verdünnten Lösungen. Ch. Zeitung 21, 522. Zeitschr. für phys. Chemie 3, 203. 4, 497.

[4]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XI. 1882 S. 713.

[5]) Müller-Thurgau, Über die Natur des in süßen Kartoffeln sich vorfindenden Zuckers. Landwirt. Jahrb. XIV. 1885 S. 909—912, n. L. Jahrb. 1882 S. 774 ff.

wohl auch dieser Fehler vernachlässigt werden, da der Kartoffelsaft nicht allzuviel gelöste Stoffe enthalten wird. Wenigstens weicht sein spezifisches Gewicht, wie aus den Angaben auf Seite 234 ersichtlich ist, nur wenig von dem des Wassers ab.

Um den Gefrierpunkt um 0,32° herabzusetzen, wäre ein Unterschied in den Kartoffelsäften von 33,364 gr Zucker nötig. Um die Erniedrigung des Erfrierpunktes der kaltgelagerten Kartoffeln der Kartoffelsorte „Magnum bonum“ durch Erhöhung des osmotischen Druckes infolge von Zuckeranhäufung zu erklären, wären 98,008 gr Zucker und für die Maltakartoffel sogar 139,71 gr Zucker nötig. So große Zuckermengen sind aber für die Kartoffel nicht nachgewiesen. Gerade bei den Maltakartoffeln, welche frisch geerntet zum Verkauf kommen, kann die Zuckeranhäufung keine bedeutende sein; denn Müller-Thurgau[1]) weist in seiner Arbeit über Zuckeranhäufung in Pflanzenteilen infolge niederer Temperaturen nach, daß die frisch ausgegrabenen Kartoffeln gar keinen reduzierenden Zucker haben und daß die Zuckeranhäufung infolge von Kaltlagerung bei kürzlich gereiften Kartoffeln viel langsamer vor sich geht als bei denselben Kartoffeln, die einige Monate später auf Eis gelegt wurden. Nach 30 Tagen zeigten solche Kartoffeln erst 5,50, 2,95, 14,17, 2,66, 9,48 gr Zucker auf 1000 gr Frischgewicht.

Gleichzeitig weist Müller-Thurgau[2]) nach, daß man keineswegs den Zuckergehalt der Kartoffeln bis auf jede beliebige Höhe steigern kann, sondern daß, gerade wie bei so vielen chemisch-physiologischen Vorgängen, die Wirkung abgeschwächt wird, ja ganz aufhört, wenn die Endprodukte nicht entfernt werden, so daß bei einer gewissen Konzentration des in den Zellen bereits vorhandenen Zuckers die Zuckerbildung sistiert wird.

Nach einem Aufenthalte von 20 Tagen im Eise betrug der Zuckergehalt durchschnittlich 15‰; würde die Zuckeranhäufung mit derselben Energie fortdauern, so müßten in 60 Tagen die Kartoffeln über 40‰ enthalten haben. Bei seinen vielen Untersuchungen fand aber Müller-Thurgau selbst bei Kartoffeln, die 100 Tage auf Eis gelegen hatten, sehr selten über 30‰, niemals über 40‰ Zucker.

Selbst Müller-Thurgau[3]), der mehrere hundert Kartoffeln auf ihren Zuckergehalt untersuchte, hat also niemals so große Mengen gefunden, daß sie (angenommen, die Herabsetzung der Todespunkte stehe mit der Zuckeranhäufung in irgend welcher Beziehung) eine Erklärung für die Verschiedenheit der Todespunkte abgeben könnten. Ich lasse hier einige Daten, darunter die höchsten von Müller-Thurgau beobachteten Zuckermengen aus seinen vielen Untersuchungen folgen, wobei ich die gefundenen Zuckermengen benutze, um die durch den Zucker bewirkte resp. theoretisch

---

[1]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XI. 1882 S. 780—782.

[2]) Müller-Thurgau, l. c. S. 752.

[3]) Müller-Thurgau, Über Zuckeranhäufung. Landwirt. Jahrb. XI. 1882 S. 752 ff.

mögliche Gefrierpunktserniedrigung nach der oben gegebenen Formel zu berechnen. Er fand in Kartoffeln, die bei 0° gelegen hatten:

Tabelle 12.

Kartoffelsorte „Frühe Johannisberger", bei 0° gelagert.

Dauer der Lagerung	Zuckergehalt auf 1000 gr Frischgewicht	Daraus berechnete Gefrierpunktserniedrigung
30 Tage	10,40	0,09975
	9,13	0,08757
	20,50	0,19662
	17,04	0,16343
	19,30	0,18511
	14,18	0,13600
	26,70	0,25605
	6,76	0,06484
32 Tage	25,19	0,24160
	19,41	0,18533
	24,31	0,23316
33 „	18,90	0,18127
	21,85	0,20970
35 „	19,21	0,18900
42 „	15,72	0,15090
48 „	30,31	0,2908

Tabelle 13.

Rote Rosenkartoffeln, die im Eise aufbewahrt wurden.

Dauer der Lagerung	Zuckergehalt auf 1000 gr Frischgewicht	Daraus berechnete Gefrierpunktserniedrigung
75 Tage	24,90	0,2388
	27,66	0,2653
78 „	28,48	0,2732
80 „	25,04	0,2402
	25,01	0,2400
	20,05	0,1923
	19,57	0,1877
	23,79	0,2282
100 Tage	27,16	0,2605
	30,71	0,2945
40 „	36,18	0,3470
63 „	31,66	0,3036

Aus den angeführten Zahlen geht hervor, daß im günstigsten Falle (36,18 gr Zucker in 1000 gr Frischgewicht) der Gefrierpunkt des Zellsaftes nur um 0,347° herabgesetzt werden könnte. Nimmt man nun noch an, daß der in den Kartoffeln neben dem Fruchtzucker vorhandene Rohrzucker 18 gr beträgt [1]), so würde der Gefrierpunkt bei dem fast doppelten

[1]) Müller-Thurgau, Über die Natur des in süßen Kartoffeln sich vorfindenden Zuckers. Landwirt. Jahrb. XIV. S. 885, 909—912.

Molekulargewicht des Rohrzuckers noch um ungefähr 0,087° herabgemindert werden. Im günstigsten Falle, d. h. bei der höchsten von Müller-Thurgau gefundenen Zuckermenge, würde also die Gefrierpunktserniedrigung 0,434° betragen.

Die Erniedrigung des Erfrierpunktes kaltgelagerter Kartoffeln (mit wesentlich geringerer Zuckeranhäufung) beträgt dagegen nach meinen Versuchen für „Magnum bonum" 13,8 Skalenteile = 0,94° und für Maltakartoffeln 19,5 Skalenteile = 1,23°. Der durch Kaltlagerung aufgehäufte Zucker ist also nicht imstande, die Variabilität der Erfrierpunkte genügend zu erklären.

Ich glaube, auf Grund der von Müller-Thurgau bestimmten Werte für die Zuckeranhäufung in Verbindung mit meinen experimentell ermittelten Todespunkten für die Kartoffel sogar noch einen Schritt weitergehen und aussprechen zu dürfen, daß der in den Kartoffeln bei Kaltlagerung auftretende Zucker nicht nur das Herabsinken des Todespunktes nicht erklären kann, sondern daß aus den aufgeführten Zahlen deutlich hervorgeht, daß der größere oder geringere Zuckergehalt überhaupt nicht den geringsten Einfluß auf die Lagerung der Todespunkte der Kartoffel hat.

Wie meine Versuche (siehe Seite 15) zeigen, liegt der Todespunkt der Kartoffeln „Magnum bonum", die bei Eistemperatur gehalten waren, bei 45 Skalenteilen = — 3,08°. Diese Ziffer wurde durch viele Versuchsreihen kontrolliert und konstant festgestellt. Zwar waren ganz geringe Schwankungen vorhanden, allein diese betrugen nie mehr als einen Teilstrich der Skala und fallen in die Fehlergrenze der Versuche. Die Schwankungen würden also hier im Höchstfalle 0,0684° betragen können.

Dagegen zeigen die verschiedenen untersuchten Kartoffeln Müller-Thurgaus so große Differenzen im Zuckergehalte, daß die Erfrierpunkte, den Zusammenhang von Gefrierpunkt und Erfrierpunkt vorausgesetzt, ganz bedeutende Differenzen aufweisen müßten. Wäre nämlich der im Zellsaft gelöste, osmotisch wirksame Zucker wirklich für das Erfrieren der Kartoffelknolle ausschlaggebend, so müßte doch der Todespunkt der kaltgelagerten Kartoffeln wenigstens ähnlich große Schwankungen aufweisen, wie die infolge der Differenzen im Zuckergehalte der einzelnen Kartoffeln eintretenden Änderungen des osmotischen Druckes schwanken. Diese Differenz ist für die frühe Johannisberger im extremsten Falle (von 6,76 gr bis 30,31 gr Zucker auf 1000 gr) = 0,2260° oder gleich 3,3 Skalenteilen, und für die rote Johannisberger (19,57 bis 36,18 gr) = 0,1593° oder gleich 2,3 Skalenteilen. Da nun einerseits die Kartoffelsorte „Magnum bonum" und ebenso die gleichfalls von mir untersuchte Maltakartoffel im Kältetodespunkt völlige Übereinstimmung zeigen, andererseits aber die beiden Rassen, die Müller-Thurgau untersuchte, diese großen Unterschiede im Zuckergehalte aufweisen, halte ich mich zu dem Schlusse berechtigt, daß der Zuckergehalt wohl für das Gefrieren des Zellsaftes, niemals aber für das Erfrieren der Kartoffelknolle Bedeutung besitzt. Nicht auf den Kälteschutz durch Herab-

setzung des Gefrierpunktes, wie Müller-Thurgau und, ihm folgend, Pfeffer[1]) will, sondern auf die Auflösung der thermisch passiven Stärke und ihre Überführung in thermisch aktive gelöste Reservestoffe[2]), sowie auf spätere aktive Lebensvorgänge hat die Zuckeranhäufung Bezug.

Mit der abfallenden Temperatur in der kalten Jahreszeit wird die Kartoffel süß. Im Frühjahr beginnt sie zu keimen und jetzt wird der Zucker bei der Ernährung und für die kräftige Entwicklung der Triebe rasch verbraucht. So fand Müller-Thurgau bei seinen Keimversuchen mit süßen und nicht süßen Kartoffeln, daß erstere besser und schneller keimten als letztere. Die Triebe der süßen Kartoffeln übertrafen die anderen nicht nur durch ihr wesentlich gefördertes Wachstum, sondern sie besaßen auch ein bedeutend höheres Trockengewicht. Zu dem gleichen Ergebnisse, daß der Zuckergehalt ohne Einfluß auf die Todespunkte ist, gelangt man auch, wenn man die Untersuchungen, welche die Bestimmungen der Todespunkte der bei Zimmertemperatur und der bei Gewächshaustemperatur gelagerten Kartoffeln betreffen, vergleicht.

Nach Müller-Thurgau[4]), welcher diesem Thema die größte Aufmerksamkeit geschenkt hat, tritt bei + 10° die Grenze auf, von welcher ab die höheren Temperaturen einen vollkommenen Verbrauch (völlige Veratmung) des gebildeten Zuckers in der ruhenden Kartoffelknolle ergeben. Von dieser Temperatur ab nach oben ist also kein für die osmotische Spannung im Innern der Zelle in Betracht kommender Zucker mehr im Zellsaft gelöst. Trotzdem zeigen sich bei unter verschieden hoher Temperatur gehaltenen Kartoffeln die Differenzen in den Erfrierpunkten oberhalb der als Grenze anzusehenden 10° mindestens ebenso deutlich wie unterhalb dieser Grenze.

Es ist nicht abzusehen, wieso die Zuckeranhäufung in den kaltgelagerten Kartoffeln die Ursache der Erniedrigung ihres Erfrierpunktes sein soll, wenn bei den praktisch zuckerlosen Kartoffeln, welche bei + 12 und + 22,5° gelegen hatten, die gleiche Differenz in den Erfrierpunkten vorhanden ist. Der 7,3 Skalenteile = 0,49° betragende[5]) Unterschied im Erfrieren der bei höherer und der bei Zimmertemperatur gehaltenen Kartoffeln kann nicht vom Zuckergehalte ihres Zellsaftes abhängen; man wird also auch bezüglich des Einflußes des Zuckers auf die Differenzen zwischen den bei Zimmer- und bei Eistemperatur gehaltenen Kartoffeln von diesem Standpunkt aus zum Schluß kommen, daß der Zuckergehalt mit dem Erfrieren nichts zu tun hat.

Ich fasse nochmals zusammen: Nach den Darlegungen, welche ich bezüglich des Zuckergehaltes der normalen bei Zimmertemperatur gehaltenen

[1]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie II. S. 317.
[2]) Mez, l. c. p. S. 127. [3]) Müller-Thurgau XI. 1882 S. 825, 826.
[4]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. 1882 S. 774.
[5]) Vgl. oben S. 14 und S. 17.

und der kaltgelagerten Kartoffel gemacht habe, kann der wesentliche Unterschied der Todespunkte, welcher z. B. bei den Maltakartoffeln von 25,5 bis 45,0 Skalenteilen, also um 1,23° schwankt, nicht von dem Zuckergehalte herrühren. Denn ein Gramm Fruchtzucker auf 1000 gr Zellsaft erniedrigt den Gefrierpunkt nur um 0,00959°. Das Gefrieren der Kartoffel könnte dementsprechend nach dem höchsten gefundenen Werte, nur bis 0,434° heruntergemindert werden. Da das Gefrierpunktsintervall 0 bis 36,15 gr = 0,434° mit dem Erfrierintervall —25,5 bis —45,0 Skalenteile = 1,23° in keinerlei erkennbarem Verhältnis steht, im Gegenteil der Erfrierpunkt ganz unverhältnismäßig tiefer liegt als der Gefrierpunkt, so hat offenbar das Erfrieren nichts mit dem Zuckergehalte zu tun. Es kann sich demnach bei der Erniedrigung des Erfrierpunktes infolge von kalter Lagerung der Kartoffel nur um eine Eigenschaft des Protoplasmas handeln, nämlich darum, daß das Protoplasma sich an kältere oder wärmere Temperaturen gewöhnt, und daß durch diese Gewöhnung die Lage der Todespunkte beeinflußt wird.

Diese Folgerung hat Müller-Thurgau, welcher, wie oben dargelegt[1]), gleichfalls die Erfrierpunktserniedrigung kaltgelagerter Kartoffeln schon beobachtet hatte, nicht gezogen, weil er sich über die Größe der durch die Zuckerbildung möglichen Gefrierpunktserniedrigung nicht klar war. Sie scheint mir ein neues Licht auf das Problem der Akklimatisation zu werfen.

Während die Praxis von lange her durch ihre Versuche dazu geführt wurde, eine direkte Akklimatisation anzunehmen, wird von wissenschaftlich-kritischer Seite bisher die Entstehung frostbeständiger Rassen von Pflanzen im wesentlichen als eine Ausleseerscheinung angesehen [Müller-Thurgau[2]) und Mez[3])] in der Weise, daß im Laufe der Zeit durch Überleben der mehr frostbeständigen Nachkommenschaft allmählich immer frostbeständigere Formen gewonnen wurden. Dem widerspricht aber z. B. die Tatsache, daß bei dem Überpflanzen von Bäumen wärmerer Klimate in solche kälterer eine deutliche Gewöhnung der Exemplare an das kältere Klima eintritt, daß also eine wirkliche Akklimatisation stattfindet. Als ebensolche Akklimatisation möchte ich auch die nun zahlenmäßig nachgewiesene Tatsache bezeichnen, daß die kaltgelegten Kartoffeln eine niedrigere Kältetodestemperatur besitzen, als die bei Zimmertemperatur gehaltenen Knollen und diese wieder wesentlich niedriger erfrieren als die im Warmhaus aufbewahrt gewesenen.

5. Geschwindigkeit der Anpassung an die Außentemperatur.

Bei den geschilderten Untersuchungen über die Erniedrigung, beziehungsweise Erhöhung des Kältetodespunktes infolge der Temperatur, bei welcher die Objekte aufbewahrt wurden, ergab sich natürlich die Frage, in welcher

[1]) Siehe S. 7.

[2]) Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XV. 1886 S. 588 ff.

[3]) Mez, l. c. S. 91 Anmerkung.

Zeit die Gewöhnung des Protoplasmas an Temperaturänderungen erfolgte, das heißt, welche Zeit notwendig ist, um bei Kaltlagerung einen klaren Ausschlag der bestimmten Todespunkte nach unten, bei Warmlagerung einen solchen nach oben zu erzeugen. Ferner drängte sich die Frage auf, ob die erworbene Eigenschaft des bei tiefer oder hoher Temperatur eintretenden Todes bei Aufhebung der einwirkenden Umstände beliebig oft in entgegengesetzter Richtung veränderbar ist, oder nicht.

Ich habe in dieser Beziehung mit der Kartoffelsorte „Magnum bonum" nur wenige Versuche angestellt, am meisten dagegen mit Maltakartoffeln, von deren Verhalten im nächsten Kapitel die Rede sein wird, experimentiert und gefunden, daß der Ausschlag nach unten und nach oben schon nach sehr kurzer Einwirkung der Außentemperatur klar erkennbar ist.

Bei Kaltlagerung der Kartoffeln, die vorher bei Zimmertemperatur (+ 10 bis 12°) gelegen hatten, war nach vier Tagen ein Herabsinken des Erfrierpunktes um einen Skalenteil = 0,068° zu beobachten. Nach 15 Tagen betrug der Unterschied drei Skalenteile oder 0,34° und nach vier Wochen zehn Skalenteile = 0,68° gegen den ursprünglichen Erfrierpunkt. Faßt man die Gesamtdauer des längsten Versuches (vier Wochen) ins Auge, so fällt der Erfrierpunkt durchschnittlich in drei Tagen um einen Skalenteil = 0,068°. Von dieser Durchschnittsziffer weichen nur die den Beginn des Versuches betreffenden Zahlen und zwar wenig ab, da ich erst nach vier Tagen eine Differenz von einem Skalenteil nachweisen konnte. Doch ist der Unterschied so gering, daß er in die Fehlergrenze fällt. Außerdem ist noch als Grund für das langsamere Herabgehen des Todespunktes in den ersten vier Tagen zu berücksichtigen, daß die Kartoffeln, die vorher lange bei + 10 bis + 12° gelegen hatten, in ihrem Innern diese Temperatur besaßen. Es dauert aber eine ziemliche Zeit, ehe sie die Temperatur der umgebenden Luft annehmen. So wies Göppert[1]) nach, daß eine Kartoffel, die bei 10° gelegen hatte, sich erst in 18 Stunden auf die Außentemperatur von 5° einstellte.

Ein ganz gleiches Verhalten zeigten die Kartoffeln, die aus einer Temperatur von 10—12 in eine solche von 22,5° gebracht wurden. Auch hier betrug nach vier Tagen die Erfrierpunktserhöhung einen Skalenteil = 0,068°, nach vier Wochen neun Skalenteile oder 0,62°. Es kommen also auch hier auf einen Tag ungefähr ⅓ Skalenteil Erfrierpunktsverschiebung. Die Kartoffeln, welche auf Eis gelegen haben, erhöhen ihren Erfrierpunkt wieder, sobald sie in eine wärmere Temperatur gebracht werden. So stieg der Erfrierpunkt von Maltakartoffeln, die auf Eis gelegen hatten und deren Erfrierpunkt bei 44,5—45,1 Skalenteilen = — 3,05—3,09° festgestellt worden war, in drei Wochen wieder auf 38,8 Skalenteile = — 2,66°.

---

1) Göppert, l. c. S. 164—167.

Tabelle 14.

Verhalten der Maltakartoffel, welche vier Wochen auf Eis und dann wieder drei Wochen im warmen Zimmer gelegen hatte.

Kleine Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren erfroren
35,6	39,6	35,2	38,8 zweifelh.
37,3	41,2	36,9	42,4
		37,2	42,5
		38,8 zweifelh.	

Die Stücke lebten	Die Stücke waren erfroren.
35,2	38,8 zweifelhaft
35,3	39,1
35,6	39,6
36,2	39,7
36,3	39,9
37,2	40,8
37,3	41,9
38,2	42,4
38,5	42,5
38,8 } zweifelhaft	
38,8 } zweifelhaft	

Aus den dargestellten Ergebnissen geht hervor, daß die Gewöhnung an niedrige Temperaturverhältnisse außerordentlich rasch vor sich geht und daß ebenso die gesteigerte Außentemperatur wieder rasch den Todespunkt steigen läßt. Dieses Resultat hat eine bedeutende Wichtigkeit, wenn man bedenkt, daß es eine Vorstellung gibt von der Geschwindigkeit, mit welcher die Gewächse der kalten und der gemäßigten Klimate imstande sind, mit ihren Erfrierpunkten bei Eintritt der kalten Jahreszeit dem Absinken der äußeren Temperatur zu folgen. Auf der anderen Seite lehrt es auch verstehen, warum die im gemäßigten Europa um die Maimitte herum mit ziemlicher Regelmäßigkeit eintretenden Kälterückschläge viel größere Verheerungen anzurichten imstande sind, als die tieferen Temperaturen im Winter. Bei derart raschen Temperaturschwankungen fällt die Einstellung der Organismen auf niedere Erfriertemperaturen, welche bei allmählichem Übergang der Witterung stattfindet, natürlich hinweg. Fortgesetzte Untersuchungen an anderen Objekten werden zu zeigen haben, ob die Anpassungsfähigkeit der Kartoffel an Temperaturschwankungen eine extreme ist oder nicht. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Kartoffel ein unterirdisches und durch die wirksame Erdisolation [1]) gegen Temperaturschwankungen normalerweise geschütztes Gebilde ist, möchte ich annehmen, daß die Einstellungsfähigkeit oberirdischer Pflanzenteile, z. B. der Winterknospen etc., eine wesentlich größere ist.

[1]) Vgl. Pfeffer, l. c. 302; desgl. Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XVI. 1886 S. 550.

b) Das Erfrieren der Maltakartoffel.

Nachdem es sich gezeigt hatte, daß bei der einheimischen Kartoffelsorte „Magnum bonum“ die geschilderte Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und Erfriertemperatur besteht, hatte es ferner Interesse, eine unter günstigeren Bedingungen gewachsene, das heißt aus wärmeren Klimaten stammende Kartoffel auf die gleichen Verhältnisse zu untersuchen. Ich wählte als Untersuchungsobjekt eine kleine, eirunde, gelbe Frühkartoffel, welche unter dem Namen Maltakartoffel in den Monaten Mai-Juni in Halle überall zum Verkauf ausliegt. Zunächst überzeugte ich mich durch mikroskopische Untersuchung, daß die zu untersuchenden Kartoffeln dieser Sorte in ihrem Reifezustand demjenigen der untersuchten Sorte „Magnum bonum“ entsprachen.

Von der Erfahrung ausgehend, daß bei unreifen Kartoffeln die Leukoplasten an den Stärkekörnern noch in bedeutenderer Größe zu beobachten sind und daß die Anhäufung der Stärke in den Zellagen unter der peripheren Korkschicht bei unreifen Kartoffeln eine sehr lockere ist, habe ich die Überzeugung gewonnen, in meinen Maltakartoffeln vollkommen ausgereifte Objekte vor mir zu haben. Die Stärkebildner waren beinahe ganz reduziert, zum Teil überhaupt verschwunden, auch die Anhäufung der Stärke unter der Oberhaut entsprach den bei der Sorte „Magnum bonum“ gefundenen Verhältnissen.

Bei der Untersuchung dieser Kartoffelsorte ergab sich nun das Resultat, daß die gleiche Beeinflussung der Todespunkte durch die vorausgegangene Temperatur auch bei der Maltakartoffel vorhanden war. Zur Veranschaulichung füge ich hier einige Versuchergebnisse ein, die zeigen, daß bei Zimmertemperatur der Todespunkt der Maltakartoffeln bei 34,3 Skalenteilen gleich —2,35° lag; daß dieselbe Sorte nach vierwöchentlichem Liegen im Warmhause bei 25—26 Skalenteilen gleich —1,71—1,78° erfror und daß sie auf Eis gelagert ihren Todespunkt auf —3,0° herabsinken ließ.

Tabelle 15.

Verhalten von Maltakartoffeln, die bei Zimmertemperatur gelegen haben.

Kleine Kartoffel		Große Kartoffel	
Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren erfroren
32,3	34,3	23,4	34,7
33,5	35,7	27,8	35,5
		29,8	36,8
		31,2	37,3
		33,0	38,0
		34,2	

Die Kartoffeln lebten		Die Kartoffeln erfroren	
29,8	32,9	34,3	36,4
30,7	33,0	34,3	36,8
31,2	33,5	34,7	37,3
31,2	33,9	35,5	37,6
32,5	34,2	35,7	38,0

Die Kartoffeln, die vier Wochen im Warmhause bei 22,5° gelegen hatten, erfroren bei 25—26 Skalenteilen = —1,78°.

Tabelle 16.

Verhalten der Maltakartoffeln, die vier Wochen im Warmhause lagen.

Kleine Kartoffel		Mittlere Kartoffel	
Die Stücke lebten	waren erfroren	Die Stücke lebten	waren erfroren
21,0	28,8	22,5	26,5
21,7	26,0	23,3	27,0
23,5	26,8	23,5	27,3
25,0		24,3	27,6
		25,1	28,8
			29,3
Die Kartoffeln lebten		Die Kartoffeln erfroren	
21,7		25,8	
22.5		26,0	
23,3		26,0	
23,5		26,5	
23,5		26,8	
24,3		27,0	
24,3		27,1	
24,8		27,3	
25,0		27,3	
25,1		27,6	

Der Todespunkt der Kartoffeln, die auf Eis gelegen hatten, war auf 45,0 Teilstriche = —3,08° gesunken.

Tabelle 17.

Verhalten von Maltakartoffeln, die sechs Wochen auf Eis lagen.

Mittlere Kartoffel			
Die Stücke lebten		Die Stücke waren erfroren	
39,8	40,6	45,2	45,4
43,0	41,7	46,0	46,3
44,5	42,8	47,1	47,2
45,0	45,0		48,5
Die Kartoffeln lebten		Die Kartoffeln erfroren	
42,1		45,1	
42,3		45,2	
42,8		45,4	
43,0		46,0	
44,5		46,3	
44,7		47,1	
45,0		47,2	
45,0		47,8	
45,0		48,5	
45,0		48,6	

Verglichen mit den oben für „Magnum bonum" gegebenen Zahlen sei auf das zweite Ergebnis dieser Untersuchungen hingewiesen, daß nämlich die beiden oberen Todespunkte dieser Kartoffelsorte höher liegen als die der Sorte „Magnum bonum". Dagegen fällt der untere Todespunkt, das heißt derjenige, welcher nach vierwöchentlicher Eislagerung erzielt wird, mit dem Todespunkte von „Magnum bonum" genau zusammen.

Dieses Ergebnis bestätigt meine oben gemachten Ausführungen über die Möglichkeit der Akklimatisation von Pflanzen insofern, als sich auf das klarste zeigt, daß die Maltakartoffeln an sich die Einwirkungen des milderen Klimas, unter welcher sie gewachsen ist, in der Lage ihrer oberen Todespunkte zeigt, daß aber dieselbe Knolle imstande ist, sich auch niederen Temperaturen anzupassen, und zwar ebensogut wie Kartoffelsorten, die bei kühleren Temperaturen ihre Vegetation durchführen.

II. Das Erfrieren der Kartoffeltriebe.

1. Abhängigkeit der Kältetodespunkte von der Außentemperatur.

Es war nun von Interesse, weiter zu untersuchen, ob sich die gleichen Verhältnisse bezüglich des Erfrierens, wie sie bei den Knollen gefunden wurden, auch bei den grünen zellsaftreichen Trieben der Kartoffel nachweisen lassen. An sich war zu erwarten, daß die Kartoffeltriebe sich etwas anders verhalten würden als die Knollen, und zwar aus folgendem Grunde: Während die Knollen Reservestoffspeicher darstellen, welche auch in der Heimat der Kartoffel bestimmt sind, die Pflanzen über eine relativ kühle Zeit hinweg am Leben zu erhalten, während also bei ihnen eine Anpassung an die Überwindung klimatischer Schädigungen zu erwarten war, ist dies bei den Kartoffeltrieben in keiner Weise der Fall. Die Kartoffeltriebe sind ihrer ganzen Natur nach Organe, welche in der Natur der Kälte weniger ausgesetzt sind als die Knollen, bei welchen also eine geringere Fähigkeit zur Ertragung der Kälte vorausgesetzt werden konnte. Dieses stimmt mit der allgemein beobachteten Erscheinung überein, daß auf den Feldern Kartoffeltriebe schon bei Außentemperaturen zugrunde gehen, bei welchen die Kartoffelknollen unbeschädigt bleiben. Die Untersuchung der Kartoffeltriebe war also deswegen wünschenswert, weil die eventuelle Konstatierung der bei den Knollen gefundenen Reaktionsfähigkeit auf Kälte bei ihnen aus den angeführten Gründen weniger wahrscheinlich war und weil sowohl das Auftreten, wie das eventuelle Nichtauftreten dieser Reaktionsfähigkeit interessant ist.

Es hat sich bei den in folgenden darzustellenden Untersuchungen gezeigt, daß die Kartoffeltriebe in ganz ähnlicher Weise ihren Erfrierpunkt erniedrigen, beziehungsweise erhöhen, wenn sie vorher bei erniedrigter oder erhöhter Temperatur gehalten wurden. Ferner hat sich herausgestellt, daß die Erfrierpunkte der Triebe keineswegs in allen Teilen die gleichen sind, sondern daß sich Basis, Mitte und Spitze desselben Triebes wesentlich verschieden

verhalten. Zunächst seien die Ergebnisse meiner Versuche mitgeteilt, die zeigen, daß die gleiche Einstellungsfähigkeit der Triebe auf niedere oder höhere Erfriertemperaturen vorhanden ist wie bei den Knollen.

Ich habe diese Versuche, die viel zeitraubender waren als die mit den Kartoffelknollen, hauptsächlich mit den Trieben der Sorte „Magnum bonum“ durchgeführt und bei ihr die besten Resultate erhalten. Die Triebe der Maltakartoffeln verhielten sich theoretisch ebenso wie die von „Magnum bonum“, nur waren hier die Ausschläge geringer. Die folgenden Tabellen zeigen das Verhältnis der Triebe von „Magnum bonum“, die bei Zimmertemperatur und auf Eis gehalten wurden.

Tabelle 18.

Todespunkte von Trieben, die bei Zimmertemperatur gehalten wurden.

	Die Triebe lebten		
	Untere Teile		Mittlere Teile
Temp. in Teilstrichen (1 = 0,0684°)	29,6		30,0
	30,5		35,1
	30,7		36,2
	31,4		36,4
	31,5		37,2
			37,5
	Die Triebe waren erfroren		
Temp. in Teilstrichen	32,6	34,7	38,8
	32,7	35,4	38,8
	33,0	35,7	39,4
	33,8	36,7	40,3

Der Todespunkt der unteren Teile der Triebe liegt also zwischen 31,5 bis 32,6 Skalenteilen = — 2,16 bis — 2,23°, die der mittleren 37,5 bis 38,8 Skalenteilen = — 2,57 bis — 2,66°. Dadurch, daß die Triebe keinen einheitlichen Todespunkt hatten, wurden die Untersuchungen ganz wesentlich erschwert. Mein Bestreben mußte es sein, möglichst gleich lange und gleich gut entwickelte Exemplare zu untersuchen. Auch durfte ich natürlich nur Teile miteinander vergleichen, die sich möglichst genau entsprachen, da ich sonst falsche Werte für die einzelnen Teile erhalten haben würde.

Tabelle 19.

Todespunkt von Trieben, die drei Wochen auf Eis gelegen haben.

Die Triebe lebten	
Untere Teile	Mittlere Teile
29,0	34,3
29,8	35,8
32,2	36,5
33,7	36,7
34,0	38,3
34,2	38,7

Die Triebe waren erfroren	
Untere Teile	Mittlere Teile
34,5	40,1
35,2	40,0
36,2	41,1
37,8	42,6
38,2	44,3
39,0	46,3

Der Todespunkt der unteren Teile der Triebe liegt demnach bei 34,5 Skalenteilen = — 2,36°, der mittleren bei 38,7 bis 40,1 Skalenteilen gleich — 2,65 bis 2,74°. Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die Triebe von „Magnum bonum", die drei Wochen auf Eis gelegen haben, ihren Erfrierpunkt um 0,20 bis 0,13° beziehungsweise 0,08° erniedrigt haben. Die Maltakartoffeltriebe erfroren zwischen 31,0 und 32,4 Skalenteilen = — 2,12 bis 2,14°. Für die oberen Teile lag der Kältetodespunkt nur wenig höher, Durch dreiwöchentliche Lagerung auf Eis erniedrigte sich ihr Erfrierpunkt nur um 0,05 bis 0,07 Grad.

Es ist bemerkenswert, daß bei den Trieben die gleiche Lagerung der tiefsten Todespunkte, die bei den Kartoffelknollen aufgefallen war, hier nicht vorhanden ist, sondern daß die Maltakartoffeltriebe einen wesentlich höheren tiefsten Todespunkt zeigen als die bei uns gezogenen Kartoffeln. Ich möchte in diesem Verhalten eine erblich gewordene Akklimatisation der Triebe der im kälteren Klima gezogenen Sorte „Magnum bonum" sehen. Meine hier gewonnenen und genau bestimmten Resultate bestätigen die nur im allgemeinen beobachteten und mit ungenauen Zahlen belegten Befunde früherer Autoren.

Die Anpassung der grünen Teile einer Pflanze an höhere oder niedere Temperaturen ist eine bekannte Erscheinung. Höchst zweifelhaft ist, ob es mit ihr zusammenhängt, daß die tropischen Gewächse im allgemeinen eher erfrieren als die Pflanzen der gemäßigten und kalten Zone[1]). Hier dürften erbliche Eigenschaften vorliegen. Auch die große Kälteresistenz der hochalpinen Gewächse ist kein direkter Beweis für diese Anpassungsfähigkeit. Dagegen sprechen für eine solche Versuche Haberlandts und Göpperts mit einheimischen Pflanzen. Haberlandt[2]) fand, daß Keimpflanzen, die bei 18 bis 20° C. aufgewachsen waren, schneller erfroren als die bei + 8° gezogenen Keimlinge. Göppert[3]) versetzte *Senecio vulgaris, Fumaria officinalis, Poa annua,* die schon Kältegrade bis zu — 9° ausgehalten hatten, in ein Gewächshaus, dessen Temperatur zwischen + 12 bis 18°

---

1) Siehe Pfeffer, Pflanzenphysiologie II. S. 302.

2) Haberlandt, Die Schutzeinrichtungen der Keimpflanzen. 1877 S. 948. Bot. Jahrb. 1879 S. 259.

3) Göppert, Wärmeentwicklung in den Pflanzen, 1830 S. 63.

schwankte. Als er sie nach 15 Tagen in die freie Luft brachte, erfroren sie schon bei — 7°. Andere Pflanzen der gleichen Art, die während der ganzen Zeit im Freien geblieben waren, blieben unversehrt.

2. Verhalten verschiedener Teile der Kartoffeltriebe.

Was nun das Verhalten der Teile eines Kartoffeltriebes gegen Kälte betrifft, so habe ich gefunden, wie es schon aus den Tabellen im vorhergehenden Abschnitte hervorgeht, daß die Fähigkeit, Kälte zu ertragen, von der Basis zur Spitze zunimmt. Dies Ergebnis drückt sich in folgenden bei der Sorte „Magnum bonum" gewonnenen Untersuchungsresultaten aus:

Tabelle 20.

Untere Teile des Kartoffeltriebes. Bis zu 12 cm Höhe

Die Stücke lebten			Die Stücke waren erfroren		
26,4	26,7	24,9	32,0 zweifelh.	32,6	32,2 zweifelh.
26,6	27,0	27,6	33,9	33,4	32,6
27,4	27,5	29,9	35,0	35,0	35,6
28,3	29,5	30,3	36,4	37,0	36,5
30,3	30,0	30,8	37,3		37,7
30,5	31,5	31,2	41,0		
			43,8		

Mittlere Teile des Triebes. 12 bis 20 cm Höhe

Die Stücke lebten		Die Stücke waren erfroren	
24,1	30,0 zweifelh.	38,4 zweifelh.	38,8
25,5	35,1	39,6	39,4
36,1	36,4	41,1	40,0
37,2	36,2	41,5	40,6
37,5	37,2	44,4	45,5
	37,2		47,0

Obere Teile des Triebes. 20 cm und höher

Die Stücke lebten		Die Stücke waren erfroren	
38,8	39,2	47,3	46,5
41,7	39,5	47,5	48,1
43,6	42,3	48,5	50,3
43,9	42,8	48,8	52,5
44,3	44,4	49,0	
46,5			

Das Ergebnis, daß die unteren Teile mehr, die oberen weniger frostempfindlich sind, stimmt mit den Beobachtungen anderer Forscher, insbesondere mit denen Göpperts überein. Es sei darauf hingewiesen, daß bezüglich dieser Frage die landwirtschaftliche Praxis bezüglich der Kartoffeltriebe nicht zu den gleichen Ergebnissen kommen wird und kann, wie die experimentelle Untersuchung.

Bei Maifrösten, welche das Kartoffelkraut vernichten, zeigt sich nirgends, daß die Basis der Kartoffelstengel erfroren ist, während die Spitze noch lebendig geblieben ist. Im Gegenteil erfrieren die Spitzen häufig, während

die Basis unversehrt bleibt und durch neue Verzweigung den Ausfall der Spitzen wieder auszugleichen imstande ist. Dies rührt aber nicht daher, daß auf dem Acker die Basis der Kartoffeltriebe widerstandsfähiger ist als die Spitze, sondern hat offenbar die Ursache darin, daß die Lufttemperatur in der Nähe des Erdbodens allermeist höher ist als diejenige in einiger Entfernung vom Boden.

Wie bereits angedeutet, ist es eine auch von anderen Autoren festgestellte Tatsache, daß die äußersten Teile von Trieben gegen die Kälte besonders widerstandsfähig sind, daß also die Widerstandsfähigkeit gegen Kälte von der Basis eines Krauttriebes nach der Spitze hin zunimmt. Ich weise zum Beleg dieser Behauptung hauptsächlich auf die von Noll[1]) über die Knospen niedergelegten Ergebnisse hin. Auch möchte ich hier darauf hinweisen, daß ich nur von den Trieben, nicht aber von den Blättern spreche, daß also die so auffällige Erscheinung abgefrorener Kartoffelblätter an den Trieben zur Beurteilung meiner Ergebnisse nicht herangezogen werden darf, denn es muß ganz ausdrücklich betont werden, daß in Anbetracht der dünnen Textur und des ganzen auf Verdunstung hinzielenden Baues der Blätter hier infolge der Ausstrahlung sowohl wie infolge der Wärmebindung durch die Verdunstung wesentlich andere Temperaturverhältnisse vorliegen, als sie auf einen festen, radiär gebauten Stamm einwirken. Die bedeutend größere Frostempfindlichkeit der Blätter geht aus den Beobachtungen Göpperts[2]) hervor.

Dieser[3]) kommt auf Grund seiner Versuche dazu, als allgemeine Regel aufzustellen, daß an ein und derselben Pflanze die jungen Blätter und Triebe länger der Einwirkung allmählich eintretender Kälte widerstehen als die älteren gleichartigen Teile. Es fragt sich nun, welche Gründe für das verschiedene Verhalten der verschieden alten Teile des Kartoffeltriebs vorhanden sind. Hier tritt zunächst einmal die Frage nach der Zellgröße auf, welcher insbesondere von Pfeffer[4]) und Molisch[5]) eine gewisse Bedeutung beigelegt wird. Pfeffer[4]) spricht die Meinung aus, daß die Fähigkeit, ganz außerorordentlich niedere Temperaturen zu ertragen, wie sie Pictet[6]) und andere für niedrige Kryptogamen nachgewiesen haben, wohl damit zusammenhängen könnte, daß bei kleineren und kleinsten Zellen andere Adsorptionsverhältnisse des Zellsaftes vorliegen als bei größeren Zellen.

Ich glaube, daß die Zellgröße als solche bei der Kartoffel mit den Todespunkten nichts zu tun hat, und zwar werde ich zu diesem Schlusse dadurch geführt, daß bei gleicher Zellengröße im Trieb und in der Knolle die Triebe höher gelagerte Erfrierungspunkte haben als die Knollen. Man

---

[1]) Noll, Über frostharte Knospenvariationen. Landwirt. Jahrb. XIV. 1885 S. 707—712.

[2]) Göppert, l. c. S. 96 u. ff. [3]) Göppert, l. c. S. 12—23 und S. 98, 99.

[4]) Pfeffer, l. c. II. S. 313. [5]) Molisch, l. c. S. 18, 19.

[6]) Pictet, Archiv d. scienc. phys. et natur. d. Genève 1893 III. sér. Vol. 30 p. 311.

könnte gegen diese Auffassung einwenden, daß die Adsorptionsverhältnisse des Zellsaftes nicht nur durch die umgebenden Membranen, sondern auch durch die Inhaltsbestandteile einer Zelle beeinflußt werden, daß also bei gleicher Größe die Adsorption in einer mit Stärkekörnern erfüllten Zelle wesentlich bedeutendere Höhen erreicht als in einer leeren. Dem kann ich nicht zustimmen aus einem theoretischen und aus einem, meinen Beobachtungen entspringenden Grunde. Die Vorstellung von der Abhängigkeit des Erfrierpunktes von den Adsorptionsverhältnissen ist entstanden unter der physikalischen Erfrierungstheorie, welche Erfriertod und Austrocknungstod für gleichbedeutend erklärte.

Mez[1]) hat bereits darauf hingewiesen, daß dasjenige Wasser, welches als Adsorptionswasser in Frage kommt, unter allen Umständen, also auch bei höheren Temperaturen, so fest mit den Zellbestandteilen und besonders mit den Salzen, welche im Zellsaft vorhanden sind, verbunden ist, daß eine Loslösung dieses Wassers überhaupt nicht in Frage kommt. Dieses Wasser wird auch durch die niedrigsten Temperaturen nicht von den Salzen abgespalten in der Weise, daß alles Wasser für sich gefrieren würde und das Salz rein für sich ausfallen ließe, sondern die konzentrierte Salzlösung (eutektisches Gemisch) erstarrt wie ein einheitlicher Körper. Nur wenn alles Wasser für sich erstarren würde, könnte intensivste Austrocknung in Frage kommen. Ebenso wie das durch Salze, verhält sich auch das durch Adsorption gleichfalls molekular gebundene Wasser. Ferner aber habe ich bei Messungen und Vergleich der Zellgrößen in verschieden hohe Erfrierpunkte aufweisenden Teilen des Kartoffeltriebes keine das verschiedene Verhalten erklärenden Differenzen gefunden.

Hier muß selbstverständlich von der Spitze mit ihrem mehr oder weniger embryonalen Gewebe abgesehen werden. Ist aber das Stadium der Fertigstellung der Zellen erreicht, so ändern diese, wenigstens bei der Kartoffel, ihre Größe nicht mehr. Auch bezüglich ihres Inhaltes ist keinerlei besondere Differenz zu beobachten und trotzdem bleiben die Unterschiede bezüglich des Erfrierpunktes bestehen. Daraus geht hervor, daß es sich auch hier nicht um roh physikalische Ursachen handeln kann, welche den Erfrierpunkt bedingen, sondern daß die feine, physikalisch uns noch unbekannte Konstitution des Protoplasmas an den Teilen, welche verschiedene Erfrierpunkte zeigen, eine verschiedene sein muß.

3. Die Kältewiderstandsfähigkeit embryonaler Gewebe.

Aus den angegebenen Gründen schließe ich, daß die Zellengröße mit dem Erfrierpunkte, wenigstens was die Kartoffel anbetrifft, nichts zu tun hat und ich kann dementsprechend in der geminderten Größe der embryonalen Zellen gleichfalls nicht den Grund sehen, weswegen die Kartoffeltriebe an ihrer Spitze die tiefstgelegenen Erfrierpunkte zeigen.

---

[1]) Mez, l. c. S. 95.

Hier ist nun zunächst die Frage zu beantworten, ob nicht vielleicht die Menge des Zellsaftes eine Ursache für das verschiedene Verhalten der Triebe sein könnte; denn wie im allgemeinen die embryonalen Gewebe plasmareich und zellsaftarm sind, so ist dies auch bei der Kartoffel im besonderen der Fall. Es müßte, wenn die Menge des Zellsaftes für die Erfriertemperatur von wesentlicher Bedeutung wäre, irgend eine auffällige Beziehung zwischen Zellsaftmenge und Erfriertemperatur sich finden lassen. Dem ist aber nicht so. Ich habe in der Spitze der Kartoffeltriebe, und diese müßte die typischsten Resultate unzweifelhaft ergeben, keinen Unterschied bezüglich der Erfriertemperaturen gefunden, wenn ich die Thermonadel in das wasserarme äußerste Gewebe der Vegetationsspitze, oder wenn ich sie in das wasserreiche Gewebe der Zone der inneren Ausbildung versenkte. Beide Zonen verhalten sich bezüglich ihrer Erfriertemperatur so gleich, daß ein Unterschied auch nicht einmal durch Teilstriche des Galvanometers, das heißt durch hundertstel Grad, ausgedrückt werden kann, und daß die geringen manchmal konstatierten Schwankungen unter allen Umständen innerhalb der Fehlergrenze der Versuche fallen.

Dagegen sind die Differenzen zwischen der Zone der inneren Ausbildung und der tieferliegenden Zone, wie oben dargestellt, beträchtlich und können jeden Augenblick mit vollster Sicherheit nachgewiesen werden. Die Zone der inneren Ausbildung der Zellen und die Zone der definitiv fertiggestellten Zellen sind aber, wie jeder Schnitt zeigt, bezüglich der Zellgröße nicht wesentlich verschieden. Aus diesen Gründen schließe ich, daß es nicht die geringere Menge des Zellsaftes in den wachsenden Spitzen ist, welche die Erniedrigung des Erfrierpunktes bedingt, sondern auch hier sehe ich die Ursache in einer vor der Hand nicht aufklärbaren Eigenschaft des jüngeren Protoplasmas im Gegensatz zum älteren.

Auf Grund seiner vielfachen, wenn auch rohen Untersuchungen kommt auch Göppert[1]) zu dem Schlusse, daß der größere oder geringere Gehalt an Zellsaft für das Erfrieren der Pflanzen ganz unwesentlich ist. Die Empfänglichkeit der Pflanzen für den Einfluß der Kälte sieht er in den verschiedenen Zuständen der „Vitalität", in welchen sich die Pflanze in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen befindet. Nur dann ist der Wassergehalt den Pflanzen schädlich, wenn sie durch Aufnahme einer zu großen Feuchtigkeitsmenge in einen kränklichen Zustand versetzt worden sind, oder wenn ihre Entwicklung direkt gehemmt wurde.

Auf ein besonderes Verhalten des jüngeren Protoplasmas im Gegensatz zum älteren weisen in gleichmäßiger Übereinstimmung sowohl die von Molisch und Mez gewonnenen Resultate hin, wie auch nicht veröffentlichte, welche Daehne bei der Untersuchung absoluter Kältetodespunkte niederer Wasserorganismen gewonnen hat. Daehne hat gefunden, daß bei der Abkühlung von *Enteromorpha intestinalis* der Todespunkt bereits länger ausgebildeter

---

[1]) Göppert, l. c. S. 57.

Zellen ein höher liegender ist, als derjenige von jüngeren Zellen, deren Teilung eben erst erfolgt ist. Für derartige Versuche ist *Enteromorpha intestinalis* ein vortreffliches Objekt, weil bei der Einschichtigkeit des aufgeschlitzten Thallus die Zellen in ein sehr regelmäßiges Netz geordnet sind und daher alle völlig gleichmäßig übersehen und beurteilt werden können. Der Eintritt des Todes kann sowohl durch eine geringe Verfärbung der Zellen, wie insbesondere durch die sofortige Desorganisation des Protoplasmas (körniger Zerfall desselben) aufs leichteste beobachtet werden; auch ermöglicht sich hier die plasmolytische Reaktion auf Leben oder Tod mit besonderer Sicherheit. Ferner hat *Enteromorpha intestinalis* die für die Untersuchung günstige Eigenschaft, daß bei ihr frisch gebildete Zellwände durch geringere Dicke der trennenden Membran mit Leichtigkeit als jugendlich erkannt werden können, auch wenn die neu gebildeten Zellen bereits zur gleichen Größe wie die umliegenden herangewachsen sind.

Daehne hat beobachtet, daß diese jugendlichen Zellen einen wesentlich tieferen Erfrierpunkt aufweisen als die umgebenden älteren. Über die absoluten Erfrierpunkte wird Daehne voraussichtlich selbst genauere Angaben machen. Wodurch diese Eigenschaft des jüngeren Protoplasmas, diese konstatierte Kälteresistenz, welche diejenige der älteren Zellen übersteigt, bedingt wird, kann bis jetzt noch nicht mit Sicherheit entschieden werden. Es wäre nicht unmöglich, daß es sich um Ernährungsdifferenzen des Protoplasmas handelt.

Durch Noll[1]) und Göbel[2]) wurde in klarer Weise auf die Eigenschaft der jugendlichen Zellen hingewiesen, daß diese gleichwie Parasiten die Nährstoffe aus dem umliegenden Gewebe an sich reißen. Durch Molisch[3]) wurde die interessante Entdeckung gemacht, daß bei mehreren Blättern (*Nicotiana Tabacum, Primula sinensis, Campanula pyramidalis* u. a.) die Schließzellen der Spaltöffnungen eine wesentlich höhere Kälteresistenz aufweisen als die übrigen Zellen der Epidermis.

Es ist bekannt, daß die Spaltöffnungsschließzellen bei den allermeisten höheren Pflanzen und speziell bei den von Molisch untersuchten sich vor den übrigen Epidermiszellen durch den Besitz von Chlorophyllkörnern, das heißt durch eigene Assimilation, auszeichnen. Die mechanische Erklärung Schwendeners[4]) über die Funktion der Schließzellen als Öffnungs- und Schließungsmechanismus der Spaltöffnung hat zur Voraussetzung, daß die gebildeten Assimilate in größerer Menge in den Schließzellen verbleiben und nicht, wie dies in den eigentlichen Assimilationsgeweben der Fall ist, rasch

[1]) Noll, Beobachtungen und Betrachtungen über embryonale Substanz. Biolog. Zentralblatt, Band XXIII. S. 281, 321, 401.

[2]) Siehe auch Göbel, Die Regeneration. Wissensch. Ergebnisse des intern. botanischen Kongresses, Wien 1905 S. 226.

[3]) Molisch, l. c. S. 30—33.

[4]) Schwendener, Monatsberichte der Berl. Akademie 1881 S. 833. Sitzungsberichte der Berl. Akademie 1889 S. 65.

in unlösliche Form umgewandelt beziehungsweise abgeführt werden. Aus dieser Anhäufung von Assimilaten in den Schließzellen, und zwar aus einer Anhäufung in osmotisch wirksamer Form (Zucker) wird von selbst eine besonders intensive Ernährung der Protoplasten der Schließzellen verständlich.

Ich lasse es aber dahingestellt, ob diese Erklärung, welche rein spekulativer Art und, was die Kartoffel betrifft, vor der Hand jeder experimentellen Prüfung unzugänglich ist, mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Eine gewisse Erklärung, warum gerade die jungen Zellen eines Gewebes vor den älteren eine erhöhte Kälteresistenz voraushaben, dürfte aber auf dem angegebenen Wege doch möglich sein. Denn hier sei auch auf die Erfahrung der Praxis hingewiesen, welche gezeigt hat, daß gut ernährte Bäume gegen Kälte wesentlich widerstandsfähiger sind, als schlecht ernährte[1]). Derartige Erwägungen, wie ich sie hier bezüglich des Ernährungszustandes des Protoplasmas angedeutet habe, sind auch anderen nicht fremd. Vor allem weist Müller-Thurgau[1]) darauf hin. Er ist der Ansicht, daß alles, was die Ernährung einer Pflanze nachteilig beeinflußt, auch die Widerstandsfähigkeit gegen Frost vermindert. Durch Förderung des Assimilationsvorganges wird eine Kräftigung der Pflanzen erzielt. Je besser die überwinternden Teile der Pflanze mit Reservestoffen versehen sind, desto eher werden sie im allgemeinen dem Froste zu widerstehen vermögen. Er läßt es unentschieden, ob die Reservestoffe selbst schützend wirken, oder ob durch die gleichen Umstände, durch welche die Assimilation begünstigt wird, auch die Widerstandsfähigkeit der Protoplasten gesteigert wird. Müller-Thurgau[2]) macht auch darauf aufmerksam, daß für die größere Frostempfindlichkeit im Warmhaus gezogener Pflanzen nicht nur die Anpassungsmöglichkeit heranzuziehen ist, sondern daß auch hier Ernährungsvorgänge eine Rolle spielen könnten. Die im Warmen gewachsenen Stengel und Blätter sind infolge ihres raschen Wachstums weniger gut ernährt, was sich schon dadurch kund gibt, daß sie im selben Entwicklungsstadium reicher an Wasser sind als Pflanzen, welche bei niederer Temperatur gezogen wurden.

Die gleiche Hypothese, daß die Frostresistenz innerhalb gewisser Grenzen zusammenhängt mit dem Ernährungszustand der Protoplasten, macht auch das Verhalten der Kartoffelknolle bei verschiedenen Temperaturen verständlich. Müller-Thurgau[3]) weist in seinen Untersuchungen über die Zuckerbildung in kaltlagernden Kartoffeln darauf hin, daß bezüglich des Protoplasmas von einem Hunger- und einem Sättigungszustand gesprochen werden kann. Der Hungerzustand macht sich in der Weise geltend, daß der gesamte aus der Stärke gebildete Zucker sofort verbraucht wird, während im gesättigten Zustande ein Überschuß von Zucker im Zellsaft vorhanden ist.

---

1) Müller-Thurgau, Über das Erfrieren der Pflanzen. Landw. Jahrb. XV. 1885 S. 543–545.

2) Müller-Thurgau, l. c. S. 543.

3) Müller-Thurgau, Landw. Jahrb. XI. 1882 S. 774 u. 789.

Nach Müller-Thurgau[1]) liegt, wie oben bereits erwähnt, die Grenze dieser beiden Zustände des Kartoffelprotoplasmas ungefähr bei + 10°.

Da nun nach meinen Untersuchungen mit herabgesetzter Außentemperatur die Kälteresistenz steigt und da nach den zitierten Untersuchungen von Müller-Thurgau der Ernährungszustand des Protoplasmas mit herabgesetzter Außentemperatur sich bessert, mit steigender Außentemperatur aber sich mindert, so würden meine Anschauungen über die Ursachen der verschiedenen Kälteresistenz verschieden behandelter Kartoffelteile mit denen von Müller-Thurgau in diesem Falle aufs vortrefflichste übereinstimmen.

III. Spezielle Fragen.

a) Ersatz einer einmaligen tiefen Temperatur durch langandauernde etwas höhere Temperatur.

Im Laufe der Untersuchungen drängte sich die Frage auf, ob ein einmaliges Herabsinken der Temperatur unter das spezifische Minimum ersetzt werden kann durch längeres Verweilen der Pflanze bei einer Temperatur wenig über ihrer Todestemperatur. Diese Frage ist von theoretischem Interesse; sie betrifft nämlich die Grundanschauungen über den Kältetod des Protoplasmas. Wenn eine kurzandauernde tiefe Erniedrigung der Temperatur durch eine länger andauernde etwas geringere Erniedrigung ersetzt werden kann, so ist es wahrscheinlich, daß der Tod des Protoplasmas durch Energieentzug eintritt. Ist dagegen dieser Ersatz nicht möglich, sondern wird der Tod nur durch Abfallen der Temperatur unter das spezifische Minimum bedingt, so dürften es Zerfallerscheinungen im Protoplasma sein, welche zum Tode führen (vgl. oben S. 3).

Diese Frage ist schon von Göppert[2]) in Angriff genommen worden. Er ging bei seinen Versuchen von der Beobachtung aus, daß bei der Einwirkung vorübergehender nächtlicher Fröste auf exotische Gewächse, die im Freien als einjährige oder in Töpfen als perennierende Pflanzen gezogen werden, in den meisten Fällen nur einzelne Teile, einzelne Blätter erfrieren, die ganzen Pflanzen aber keineswegs getötet werden, obgleich in solchen Nächten die Kälte oft — 2 bis — 3° beträgt. Dieselben Pflanzen werden aber schon bei — 1° getötet, wenn die niedere Temperatur 24 bis 28 Stunden anhält. Die von Göppert untersuchten Pflanzen befanden sich in Töpfen und wurden an den geeigneten Tagen der Einwirkung der Atmosphäre übergeben. Reichte die Kälte hin, ihre Säftemasse völlig zum Erstarren zu bringen, so fand er alle in der heißen Zone ursprünglich einheimischen Gewächse nach dem Auftauen vernichtet.

Diese Untersuchungen Göpperts können meiner Meinung nach nicht als für unsere Fragestellung entscheidend angesehen werden, da nicht feststeht,

---

[1]) Müller-Thurgau, l. c. S. 74.
[2]) Göppert, l. c. S. 63—65.

bei welcher Temperatur das spezifische Minimum der untersuchten Pflanzen liegt und wieweit und wie lange sie abgekühlt wurden. Vor allem aber wissen wir nicht, welche Temperatur im Innern der Pflanzen selbst vorhanden war, da diese sich durch Ausstrahlung tief unter die Temperatur der umgebenden Luft abkühlen können[1]).

Hier sind ferner die Untersuchungen von Molisch[2]) zu berücksichtigen, welcher fand, daß in einer Temperatur zwischen + 1,4 und + 3,7° die Blätter von *Episcia bicolor* Hook. nach 18 Stunden, mitunter auch schon früher, zahlreiche braune Flecke zeigten. Aber auch hier ist nicht bewiesen, ob dieser Tod nicht auch durch ein Herabsinken der Temperatur unter das spezifische Minimum herbeigeführt worden ist. Der Kältetodespunkt dieser Pflanze ist nicht bekannt, doch dürfte er über 0° liegen, wie ich aus folgenden Angaben Molischs schließe: Blätter von *Episcia bicolor* wurden in Eiswasser gelegt und in einem Kalthause aufbewahrt, dessen Temperatur + 2 bis + 5° hatte. Die Temperatur des die Blätter umgebenden Wassers war 0 bis + 1°. Einzelne Blätter zeigten schon nach drei Stunden braune Flecken, waren also getötet. Die Blätter waren hier also bei + 1° unter das spezifische Minimum abgekühlt; denn das Verfärben der erfrorenen Teile wird, ganz entsprechend dem Verhalten der Kartoffel, nicht sofort mit dem Tode der betreffenden Gewebe eintreten, sondern erst nach einigen Stunden bemerkbar werden. Es ist nun aber sehr leicht möglich, daß der Kältetodespunkt von *Episcia bicolor* noch höher liegt und daß sie schon bei einer Temperatur (+ 1,4°) erfriert, wie sie das Kalthaus bei seinen Temperaturschwankungen aufwies.

Im Gegensatz zu *Episcia bicolor* steht das Verhalten mehrerer anderer (*Eranthemum nervosum* R. Br., *Sinningia Lindeni, Euphorbia splendens* Boj.) Pflanzen, die nach Molisch's[3]) Angaben erst nach 20tägigem Aufenthalt im Kalthause absterben. Ich halte dafür, daß es sich hier nicht um einen primären Tod durch Erfrieren handelt, sondern daß das Absterben dieser Pflanzen als eine sekundäre Folgeerscheinung der kalten Temperatur anzusehen ist. Durch die Kälte werden viele Lebensprozesse gestört. Die Atmung sinkt auf ein Minimum herab, der osmotische Austausch zwischen den Zellen ist, wenn überhaupt noch vorhanden, so doch nur noch sehr gering. Es können sich schädliche Stoffwechselprodukte ansammeln, die das Protoplasma töten, es kann schon durch die Kälte an und für sich eine Störung im chemischen Aufbau und in der Tätigkeit des Plasmas herbeigeführt werden. Aus einem solchen Grunde erklärt sich wohl auch das von Pfeffer[4]) beobachtete Absterben der Keimwurzeln von *Cucurbita Pepo* und *Phaseolus vulgaris*, nachdem sie vier Wochen bei 0 bis + 1° verweilt hatten. In allen diesen Fällen ist, um mich kurz auszudrücken, nicht aus-

---

[1]) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiol. II. S. 304.

[2]) Molisch, l. c. S. 56—65.

[3]) Molisch, l. c. S. 61, 62. [4]) Pfeffer, l. c. S. 298.

geschlossen, daß kein echter Erfriertod, sondern eine durch niedere Temperatur bedingte letal endende Krankheit der Pflanzen vorlag.

Ich suchte die Frage, ob einmaliges Überschreiten des spezifischen Minimum durch länger andauerndes Verweilen dicht über der Todestemperatur ersetzt werden kann, auf folgende Weise zu lösen: Von einer Anzahl Kartoffeln wurden je drei gleiche Stücke ausgewählt. Das eine derselben wurde zur Bestimmung des Todespunktes benutzt, das zweite in der Weise behandelt, daß die Temperatur des Todespunktes gerade eben einen Augenblick lang erreicht wurde, während das dritte Stück verschieden lange Zeit wenig über der Todestemperatur gehalten wurde. Um die Temperatur des Untersuchungsobjektes auf einem gewünschten Punkte beliebig lange halten zu können, ersetzte ich das kleine Gefriergefäß durch ein großes von ungefähr einem Liter Inhalt. Das Wasser, in dem ich bisher die Kartoffelstücke hatte gefrieren lassen, ersetzte ich durch ein Gemisch von Wasser und Glyzerin. Glyzerin hat die Eigenschaft, den Gefrierpunkt des Wassers bedeutend herabzusetzen. Durch Zusatz einer geringen Menge von Glyzerin oder von Wasser hatte ich es in der Hand, den Gefrierpunkt des Gemisches um Bruchteile eines Skalenteils zu erhöhen, beziehungsweise zu erniedrigen. Das Untersuchungsobjekt konnte ich auf diese Weise mit Leichtigkeit mehrere Stunden hindurch bei derselben Temperatur halten.

1. Versuchsreihe:

Die Kartoffel erfror bei 38,5 Skalenteilen = 2,63°. Stücke einen Augenblick auf — 38,7 Skalenteile = — 2,65° abgekühlt, waren erfroren. Stücke eine halbe Stunde bei 32,5 bis 33 Skalenteilen = — 2,22 bis 2,26° lebten.

2. Versuchsreihe.

Die Kartoffel erfror bei 39,2 Skalenteilen oder bei — 2,68°. Stücke einen Augenblick auf 39,5 Skalenteile = — 2,70° abgekühlt, waren erfroren. Stücke eine Stunde bei 33,5 bis 34,5 Skalenteilen = — 2,29 bis — 2,36° gehalten, lebten. Desgleichen Stücke, welche zwei Stunden zwischen 24,5 bis 25,0 Skalenteilen = — 1,68 bis 1,71° gehalten wurden.

3. Versuchsreihe.

Die Kartoffel erfror bei 39,0 Skalenteilen = — 2,67°. Stücke einen Augenblick auf 39,5 Skalenteile = — 2,70° abgekühlt, waren erfroren. Stücke eine Stunde bei 33,0 bis 33,5 Skalenteilen = — 2,22 bis — 2,29° gehalten, lebten.

4. Versuchsreihe.

Die Kartoffel erfror bei 38,7 Skalenteilen = — 2,65°. Stücke einen Augenblick auf 38,9 Skalenteile = — 2,67° abgekühlt, waren erfroren. Stücke zwei Stunden zwischen 33,7 bis 34,0 Skalenteilen = — 2,31 bis — 2,33° gehalten, lebten.

Aus den dargestellten Untersuchungsergebnissen geht hervor, daß eine einmalige tiefe Abkühlung, wenigstens bei der Kartoffel, nicht durch länger

anhaltende weniger tiefe Kälte ersetzt werden kann; dementsprechend sehe ich in dem Kältetod der Kartoffelstücke eine Zerfallerscheinung ihres Protoplasmas und befinde mich so mit der bereits oben angegebenen Definition von Pfeffer[1]) und Mez[2]) bezüglich des Kältetodes in Einklang, welche in diesem Tode das Resultat einer Erniedrigung der Temperatur unter das spezifische Minimum der betreffenden Pflanzen sehen.

b) Wirkung öfters wiederholt eintretender Kälte.

Die letzte Frage, deren Untersuchung mir oblag, betraf das von Göppert[3]) bereits behandelte Problem, welchen Einfluß wiederholt einwirkende, aber den absoluten Todespunkt nicht erreichende Kälte ausübt. Eine lange Erfahrung hat bisher mit ziemlicher Gewißheit nachgewiesen, daß niedere Temperatur am nachteiligsten einwirkt, wenn Wärme und Kälte in kurzen Zwischenräumen häufig wechseln. Göppert nimmt an, daß durch die wiederholten Fröste und durch das darauf folgende Auftauen die Intensität des Lebens vermindert wird und so Pflanzen bei Frostgraden zugrunde gehen, bei denen sie unter gewöhnlichen Umständen nicht beschädigt worden wären.

Aus Göpperts Versuchen geht hervor, daß Pflanzen wohl mehrmals unter 0° abgekühlt werden können, daß sie aber bei oftmaliger Wiederholung absterben. Er ließ *Euphorbia Lathyris* bei — 4° völlig erstarren. Daß diese Pflanze gefroren ist, läßt sich leicht daran erkennen, daß die Blätter, die im gewöhnlichen Zustande wagerecht ausgebreitet sind, mit ihren Spitzen sich senken, so daß sie dem Stengel anliegen. Als er die Pflanze darauf in ein warmes Zimmer von + 18° brachte, taute sie bald auf und die Blätter nahmen ihre ursprüngliche wagerechte Stellung wieder ein. Ganz ebenso verhielt sich *Euphorbia Lathyris,* als sie an demselben Tage noch zweimal, und am folgenden Tage dreimal bei ziemlich gleicher Temperatur gefrieren lassen wurde. Beim Auftauen nahmen die Blätter fast mit derselben Schnelligkeit ihre Anfangsstellung wieder ein. Jedoch schon in den letzten Versuchen erhoben sich die Blätter nicht mehr völlig zu der horizontalen Lage, am dritten Tage endlich fand dies fast gar nicht mehr, oder doch nur in geringerem Grade statt. Die Pflanze sezernierte zwar noch Milch, starb aber im Verlauf von acht Tagen ungeachtet sorgsamer Pflege. Die Pflanze war also hier infolge wiederholter Einwirkung relativ geringer Frostgrade vernichtet, denn *Euphorbia Lathyris* hält im Freien im unbedeckten Zustande 10 bis 12° unter Null längere Zeit hindurch aus, ohne geschädigt zu werden.

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen führten die Versuche, die Göppert mit *Lamium purpureum, Alsine media, Capsella Bursa pastoris, Poa annua, Senecio vulgaris, Chelidonium majus, Statice Armeria, Cheiranthus Cheiri,*

---

1) Pfeffer, l. c. S. 314—318. 2) Mez, l. c. S. 96.
3) Göppert, l. c. S. 61, 62.

Brassica oleracea, Helleborus niger anstellte. Diese Pflanzen wiesen keine Beschädigungen auf, wenn sie vier- bis sechsmal hintereinander — 3 bis – 4° ausgesetzt wurden, wurde jedoch das Experiment häufiger wiederholt, so gingen sie alle zugrunde, obgleich die ersten fünf Pflanzen im Freien, ohne gegen die Kälte geschützt zu sein, — 9 bis — 10° und die übrigen sogar — 12 bis — 13° aushalten, ohne dabei von der Kälte vernichtet zu werden.

Eine Andeutung eines ganz ähnlichen Verhaltens der Kartoffelknolle bei wiederholter Abkühlung und darauf folgender Erwärmung finden wir ebenfalls bei Göppert[1]) erwähnt bei der Wiedergabe der Untersuchungen, die Einhof über die chemische Veränderung in der Kartoffel infolge von Einwirkungen des Frostes beschrieben hat. Einhof[2]) fand zunächst die bereits oben von mir im Anschluß an Versuche von Müller-Thurgau ausführlich behandelte Erscheinung der Zuckerbildung in kalt lagernden Kartoffeln auf, ferner aber machte er die für die vorliegende Frage interessante Beobachtung, daß die süßgewordenen Kartoffeln an Süßigkeit zunahmen, wenn sie abwechselnd einer Temperatur von 8 bis 12° Reaumur über und 1 bis 2° Reaumur unter dem Gefrierpunkt ausgesetzt wurden. Indessen vermochten sie den Wechsel dieser Temperatur nicht oft zu ertragen, ohne dabei getötet zu werden.

Bei meinen eigenen Untersuchungen betreffs der Frage, ob die Kartoffel mehrmalige Abkühlung bis kurz über ihren Erfrierpunkt aushalte, bin ich auf folgende Weise vorgegangen: Von einer großen Kartoffel stellte ich den Todespunkt fest. Andere Stücke derselben Kartoffel wurden in der Weise behandelt, daß sie teils ein-, teils mehrmals in rascher Folge fast bis zu ihrem Erfrierpunkte abgekühlt wurden. Die nachfolgenden Tabellen geben die Resultate dieser Untersuchungen wieder.

Tabelle 21.

Wirkung öfters wiederholter Abkühlung.

Die untersuchte Kartoffel erfror bei 32,0 Skalenteilen = — 2,20°.

1. Versuch

Abgekühlt auf	wieder erwärmt
25,2 Skalenteile	
26,4 „	+ 15°
23,2 „	+ 15°

Das Stück lebte.

2. Versuch

Abgekühlt auf	wieder erwärmt
25,2 Skalenteile	
24,1 „	+ 15°
24,8 „	+ 15°

Das Stück lebte.

3. Versuch

Abgekühlt	wieder erwärmt
24,6	54,5
25,7	26,2
23,3	34,0
25,4	

Das Stück lebte.

4. Versuch

Abgekühlt	wieder erwärmt
22,1	12,0
25,2	22,5
24,9	18,0
23,5	36,5
25,6	

Das Stück lebte.

[1]) Göppert, l. c. S. 35; siehe auch Müller-Thurgau, Landwirt. Jahrb. XI. 1881 S. .

[2]) Einhof, Chemische Untersuchungen der Kartoffel in Gehlens Neuem allgem. Journal der Chemie. 4. Band, Berlin 1805 S. 473 u. ff.

